

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Prof. Dr. Kurt Pfister

**Untersuchungen zur
saisonalen Populationsdynamik von
Ixodes ricinus (Ixodidae)
in Süddeutschland**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Michaela Schulz
aus Marburg

München 2013

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Prof. Dr. Kurt Pfister

**Untersuchungen zur
saisonalen Populationsdynamik von
Ixodes ricinus (Ixodidae)
in Süddeutschland**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Michaela Schulz
aus Marburg

München 2013

Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

| | |
|-------------------|---------------------------------|
| Dekan: | Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun |
| Berichterstatter: | Univ.-Prof. Dr. Kurt Pfister |
| Korreferent: | Priv.-Doz. Dr. Daniela Eisinger |

Tag der Promotion: 9. Februar 2013

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung und Zielsetzung..... | 1 |
| 2. Literaturübersicht..... | 3 |
| 2.1 Taxonomie und Systematik..... | 3 |
| 2.2 Allgemeine Morphologie..... | 5 |
| 2.3 Entwicklungszyklus..... | 7 |
| 2.4 Wirtstiere..... | 10 |
| 2.4.1 Wirtsfindung..... | 10 |
| 2.4.2 Saugakt..... | 11 |
| 2.5 Geographische Verbreitung..... | 12 |
| 2.6 Habitat..... | 14 |
| 2.7 Aktivität..... | 16 |
| 2.7.1 Jahreszeitliche Aktivität..... | 16 |
| 2.7.2 Diapause..... | 18 |
| 3. Material und Methoden..... | 19 |
| 3.1 Standorte..... | 19 |
| 3.1.1 Auswahl der Standorte..... | 19 |
| 3.1.2 Charakterisierung der Standorte..... | 20 |
| 3.2 Sammeln der Zecken..... | 34 |
| 3.2.1 Sammlungsmethode..... | 34 |
| 3.2.2 Identifizierung der Zecken..... | 36 |
| 3.2.3 Erfassen der Klimadaten..... | 36 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.3 | Statistische Auswertung..... | 39 |
| 4. | Ergebnisse..... | 40 |
| 4.1 | Anzahl und saisonale Aktivität der Zecken..... | 40 |
| 4.2 | Klimadaten..... | 44 |
| 5. | Diskussion..... | 52 |
| 5.1 | Diskussion der Ergebnisse zur Anzahl und zur saisonalen Aktivität der Zecken. . | 52 |
| 6. | Zusammenfassung..... | 64 |
| 7. | Summary..... | 66 |
| 8. | Literaturverzeichnis..... | 68 |
| 9. | Abkürzungsverzeichnis..... | 81 |
| 10. | Abbildungsverzeichnis..... | 82 |
| 11. | Tabellenverzeichnis..... | 85 |
| 12. | Anhang..... | 87 |
| 12.1 | Abbildungen..... | 87 |
| 12.2 | Tabellen..... | 98 |
| 13. | Lebenslauf..... | 107 |
| 14. | Danksagung..... | 109 |

1. Einleitung und Zielsetzung

Zecken sind obligat blutsaugende Ektoparasiten, die weltweit als bedeutende Vektoren für veterinär- und humanmedizinisch relevante Krankheiten fungieren. Viele von ihnen übertragene Pathogene wie Viren, Bakterien und Parasiten stellen sowohl für den Menschen als auch für Nutz- und Haustiere eine nicht unerhebliche gesundheitliche Gefahr dar und verursachen große wirtschaftliche Schäden (Jongejan & Uilenberg 2004).

Für die Tiermedizin besitzen Zecken einen besonderen Stellenwert, da Zeckenbefall und die damit verbundenen zeckenübertragenen Erkrankungen in den vergangenen Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen haben. Sie sind schon seit langem nicht mehr nur auf die Mittelmeerländer oder importierte Tiere beschränkt und bilden eine wichtige Ursache für einen Tierarztbesuch (Deplazes 2006). Besonders die Borreliose, Ehrlichiose, Anaplasmose, Babesiose, Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) und die Hämobartonellose sind in diesem Zusammenhang erwähnenswert. Vor allem Zecken der Art *Ixodes ricinus* (Holzbock), *Dermacentor reticulatus* (Auwaldzecke) und *Rhipicephalus sanguineus* (Braune Hundezecke) stellen eine zunehmende Bedrohung insbesondere bei Hunden dar.

Für Deutschland fehlen bislang flächendeckende Untersuchungen über das Vorkommen und die Verbreitung von Zecken. In der Literatur finden sich lediglich Daten über lokale Prävalenzen und Verbreitungen (Immler 1973, Liebisch & Rahman 1976, Süss *et al.* 2004, Wilske *et al.* 1987, Zahler *et al.* 2000), jedoch ist unklar, wie sich die Populationsdynamik der verschiedenen Zeckenspezies in anderen Regionen Deutschlands darstellt. Die vorliegende Arbeit hat daher zum Ziel, die saisonale Aktivität von Zecken und deren Populationsdynamik sowie das Spektrum der verschiedenen Spezies über einen Zeitraum von einem Jahr genau zu beobachten und anhand der erhobenen Daten eine aktuelle Aussage über die saisonale Aktivität an ausgewählten Standorten in Süddeutschland zu treffen. Die vorliegenden Ergebnisse sollen somit helfen, bestehende Kenntnisse zu

ergänzen, sowie weitere epidemiologische Studien zu planen und das Wissen über diese Ektoparasiten zu erweitern.

2. Literaturübersicht

2.1 Taxonomie und Systematik

Zoologisch gesehen ähneln Zecken den Milben, mit denen sie innerhalb des Stammes der Gliederfüßer (*Arthropoda*) die Unterklasse der Acari bilden. Sie grenzen sich allerdings durch die Lage ihrer Atemöffnungen (Stigmen) zwischen dem dritten oder vierten Beinpaar von den übrigen Milben ab und werden in die Ordnung Metastigmata oder Ixodida eingeordnet.

Innerhalb dieser Ordnung gibt es zwei große Familien, die *Ixodidae* (Schildzecken) und *Argasidae* (Lederzecken). Die Familie *Nuttalliellidae* kommt mit nur einer einzigen Art in Afrika vor (*Nuttalliella namaqua* Bedford) und ist somit von untergeordneter Bedeutung (Sonenshine 1991). Die Vertreter der verschiedenen Familien unterscheiden sich in ihrer Morphologie, ihrem Lebensraum und ihrem Entwicklungszyklus, ihnen gemeinsam ist aber, dass sie sich alle vom Blut von Wirbeltieren ernähren (Aspöck 2002).

Von den weltweit knapp 880 existierenden Arten wurden in Deutschland bislang 19 Arten aus 5 verschiedenen Gattungen beschrieben (Horst *et al.* 2003).

Tabelle 1: Übersicht über die in Deutschland heimischen Zecken und ihre Systematik (modifiziert nach Eckert *et al.* 2005, Mehlhorn & Piekarski 1995, Rommel *et al.* 2000)

| Familie | Gattung | Art |
|----------------------------|---------|---|
| Schildzecken (Ixodidae) | Ixodes | <i>Ixodes ricinus</i> (Gemeiner Holzbock) <i>Ixodes hexagonus</i> (Igelzecke) <i>Ixodes canisuga</i> (Fuchszecke) <i>Ixodes arboricola</i> <i>Ixodes apronophorus</i> <i>Ixodes festai</i> |

Literaturübersicht

| | | |
|----------------------------|---------------|---|
| | | <i>Ixodes lividus</i> |
| | | <i>Ixodes pari</i> |
| | | <i>Ixodes simplex</i> |
| | | <i>Ixodes trianguliceps</i> |
| | | <i>Ixodes uriae</i> |
| | | <i>Ixodes vespertilionis</i> |
| | Haemaphysalis | <i>Haemaphysalis concinna</i> (Reliktzecke) |
| | | <i>Haemaphysalis punctata</i> |
| | Rhipicephalus | <i>Rhipicephalus sanguineus</i> (Braune Hundezecke) |
| | | |
| | Dermacentor | <i>Dermacentor marginatus</i> (Schafzecke) |
| | | <i>Dermacentor reticulatus</i> (Auwaldzecke) |
| Lederzecken (Argasidae) | Argas | <i>Argas reflexus</i> (Taubenzecke) |
| | | <i>Argas vespertilionis</i> |

Während Lederzecken vor allem in den tropischen und subtropischen Klimazonen vorkommen, sind die Schildzecken in allen gemäßigten Regionen heimisch. *I. ricinus* stellt mit knapp 90% der gesamten Zeckenpopulation die häufigste und somit auch bedeutendste Zeckenart in Mitteleuropa dar (Babos 1964, Eckert *et al.* 2005, Hillyard 1996, Liebisch & Liebisch 1999).

Die Gründe für diese gewaltige Population sind vor allem zwei wichtige biologische Eigenschaften dieser Zeckenart: das Wirtsspektrum von *I. ricinus* ist sehr breit gefächert, sie parasitiert an einer Vielzahl unterschiedlichster Wirbeltiere. Des Weiteren ist diese

Zeckenart an kein eng umgrenztes Biotop gebunden, weswegen die geographischen und klimatischen Bedingungen in weiten Teilen Europas zu einer ungehemmten Verbreitung des Parasiten führen konnten (Horst *et al.* 2003).

2.2 Allgemeine Morphologie

Im folgenden wird größtenteils auf den Körperbau der Schildzecken eingegangen, da diese – allen voran *I. ricinus* – den größten Teil der deutschen Zeckenfauna ausmachen.

I. ricinus, deren Name auf der Ähnlichkeit mit den Samen des Wunderbaums (*Ricinus communis*) beruht, wenn sie vollgesaugt ist, wird auch als „Gemeiner Holzbock“ bezeichnet (Rufli & Mumcuoglu 1981).

Ihr Körper ist im nüchternen Zustand dorso-ventral abgeflacht, oval und weist einen zweieggliederten Bau, bestehend aus Kopf (Capitulum) und Körper (Idiosoma), auf. Am Körper setzen bei den Adulten 4 Beinpaare und das meist deutlich abgesetzte Capitulum an, welches die paarigen Saugwerkzeuge enthält. Diese bestehen aus den außen gelegenen Kiefertastern (Pedipalpen) und den innen gelegenen gezähnten Kieferklauen (Chelizeren) (Kutzer 2000). Zwischen ihnen münden die Mund- und Speicheldrüsen. Die Palpen sind distal zu einer *Basis capituli* vereint, von welcher ventral als unpaares Stechwerkzeug das mit Widerhaken versehene Hypostom ausgeht. Die Mundwerkzeuge in ihrer Gesamtheit werden auch Gnathosoma genannt.

Der Teil des Körpers, welcher die Beine trägt, wird als Podosoma, der beinlose hintere Teil als Opisthosoma bezeichnet (Sonenshine 1991).

Alle Stadien der Schildzecken tragen einen dorsalen, dunkelbraunen bis schwarzen Rückenschild (Scutum) aus Chitin, der ihnen ihren Namen verleiht und ein typisches Merkmal darstellt. Dieser wird beim Saugakt nicht gedehnt, weswegen er bei den auf die Blutaufnahme ausgerichteten weiblichen Zecken nur ungefähr ein Drittel des Körpers bedeckt, bei den männlichen Zecken hingegen den gesamten Körper. Beim Saugakt kann

die Körperlänge der Weibchen so von 3 – 4 mm im nüchternen Zustand auf bis zu 20 mm im vollgesogenen Zustand anwachsen. Männliche Zecken werden bis zu 2,5 mm lang und tragen auf ihrer ventralen Fläche zusätzlich sieben sklerotisierte Platten (Hillyard 1996, Stanek & Hofmann 1994). Diese Platten können zur taxonomischen Bestimmung herangezogen werden.

Die durchscheinenden Larven sind knapp 0,5 mm groß und besitzen im Gegensatz zu den beiden anderen Stadien nur 3 Beinpaare. Die Nymphen sind 1 – 1,5 mm groß und morphologisch weitgehend mit den Adulten identisch, allerdings fehlen ihnen die Stigmen und die Geschlechtsöffnung (Rufli & Mumcuoglu 1981, Stanek & Hofmann 1994).

Allen Stadien gemein ist die ventral gelegene Analöffnung im hinteren Körperdrittel, welche kranial von der Analfurche umgeben wird. Diese stellt ein weiteres wichtiges Bestimmungsmerkmal bei den verschiedenen Zeckenarten dar.

Im vorderen Drittel der Ventralseite, zwischen den Coxen des vierten Beinpaares, findet sich bei den weiblichen Adulten der Genitalporus (Hillyard 1996, Rufli & Mumcuoglu 1981). Zecken atmen mit Hilfe eines Paares von Tracheen, deren Öffnungen Stigmen heißen. Diese liegen bei den Schildzecken hinter den Coxen des vierten Beinpaares, bei den Lederzecken neben denen des dritten Beinpaares.

Mit Ausnahme der Larven besitzen Zecken vier Beinpaare, von denen jedes aus vier bis sieben Segmenten besteht. An der Spitze der Beine sitzen je ein Paar Krallen und ein Haftlappen (Pulvillus), welcher bei den *Argasidae* fehlt. Am untersten Segment des ersten Beinpaares befindet sich zudem das Hallersche Organ. Mit diesem Sinnesorgan ist die Zecke in der Lage, thermische, chemische und mechanische Reize wahrzunehmen. Dies erleichtert der Zecke die Wirtsfindung, da sie so unter anderem Ammoniak, Buttersäure und CO₂ erkennen und potentielle Wirte über größere Entfernungen orten kann (Sonenshine 1991).





| Larven | Nymphe | adulte Zecke (♂) | adulte Zecke (♀) |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| ca. 0,5 mm | ca. 1 - 1,5 mm | ca. 2,5 mm | ca. 3 - 4 mm |

Abb. 1: Entwicklungsstadien von *Ixodes ricinus* (modifiziert nach Aspöck 2002)

2.3 Entwicklungszyklus

Zecken entwickeln sich teils im Habitat und teils auf einem Wirt. Dabei durchlaufen sie 4 Stadien: Ei, Larve, Nymphe und Adultus. Die *Argasidae* haben dabei bis zu acht Nymphenstadien, von denen jede auf das Blut eines Wirts angewiesen ist und auch auf unterschiedlichen Wirten parasitiert. Die *Ixodidae* hingegen durchlaufen nur ein Nymphenstadium (Eckert *et al.* 2005).

Zur Weiterentwicklung müssen alle Entwicklungsstadien Blut von einem Wirbeltier aufnehmen. Je nach Zahl der beteiligten Wirte werden Zecken als ein-, zwei- oder dreiwirtig bezeichnet. Die Mehrzahl der *Ixodidae* inklusive aller in Mitteleuropa vorkommenden Arten (Ausnahme: *Hyalomma marginatum*) ist dreiwirtig (Pfister 2006). Der gesamte Entwicklungszyklus dauert zwischen zwei und sechs Jahren (Sonenshine 1993) und ist in Abbildung 2 dargestellt.

Nachdem die weibliche Zecke ihre Blutmahlzeit auf dem Wirt beendet hat, verlässt sie diesen und legt zwischen 500 und 3000 Eier am Boden ab, aus denen nach ca. vier bis sieben Wochen die Larven schlüpfen. Die Larve sucht sich nach zwei bis drei Wochen ihren ersten Wirt und nimmt dort ca. eine Woche lang Blut auf. Im Anschluss daran lässt sie sich zu Boden fallen. Nach einem drei- bis achtwöchigen Ruhestadium häutet sie sich zur Nymphe. Diese wiederum sucht nach ca. einem bis drei Monaten einen zweiten Wirt auf, an dem sie Blut saugt. Daraufhin folgt ein Reifungsprozess abseits des Wirts, der bis zu sechs Monate dauert und in dessen Rahmen sich die Nymphe zur adulten, geschlechtsreifen Zecke entwickelt (Aeschlimann 1972, Rufli & Mumcuoglu 1981). Nach der letzten Häutung begibt sich das Weibchen nach ca. einem Monat auf den dritten und letzten Wirt. Hier findet vor der letzten Blutmahlzeit die Paarung mit der männlichen Zecke statt. Das Weibchen gibt hierzu Pheromone ab, die das Männchen mit dem Hallerschen Organ wahrnimmt. Die Paarung selbst kann bis zu einer Woche dauern, das Männchen stirbt kurze Zeit später. Nach der Paarung beginnt die weibliche Zecke ihre Blutmahlzeit, die bis zu 2 Wochen dauern kann. Im Anschluss an die Blutmahlzeit löst sich die weibliche Zecke von ihrem Wirt und beginnt mit der Eiablage. Nach der Ablage der Eier stirbt das Weibchen und der gesamte Entwicklungszyklus wiederholt sich (Rufli & Mumcuoglu 1981).

Insgesamt leben die meisten Schildzeckenarten somit den größten Teil ihres Lebens nicht parasitisch auf ihren Wirten, sondern freilebend in der Umgebung (Hillyard 1996).

Die gesamte Entwicklungsdauer vom Ei bis zur adulten Zecke kann in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren wie z.B. der Witterung oder der Verfügbarkeit von geeigneten Wirten sehr stark variieren. Durchschnittlich wurden für die Entwicklung von *I. ricinus* Werte zwischen zwei und drei Jahren angegeben. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen kann sich dieser Zyklus auch auf bis zu sechs Jahre verlängern (Aeschlimann 1972, Rufli & Mumcuoglu 1981).

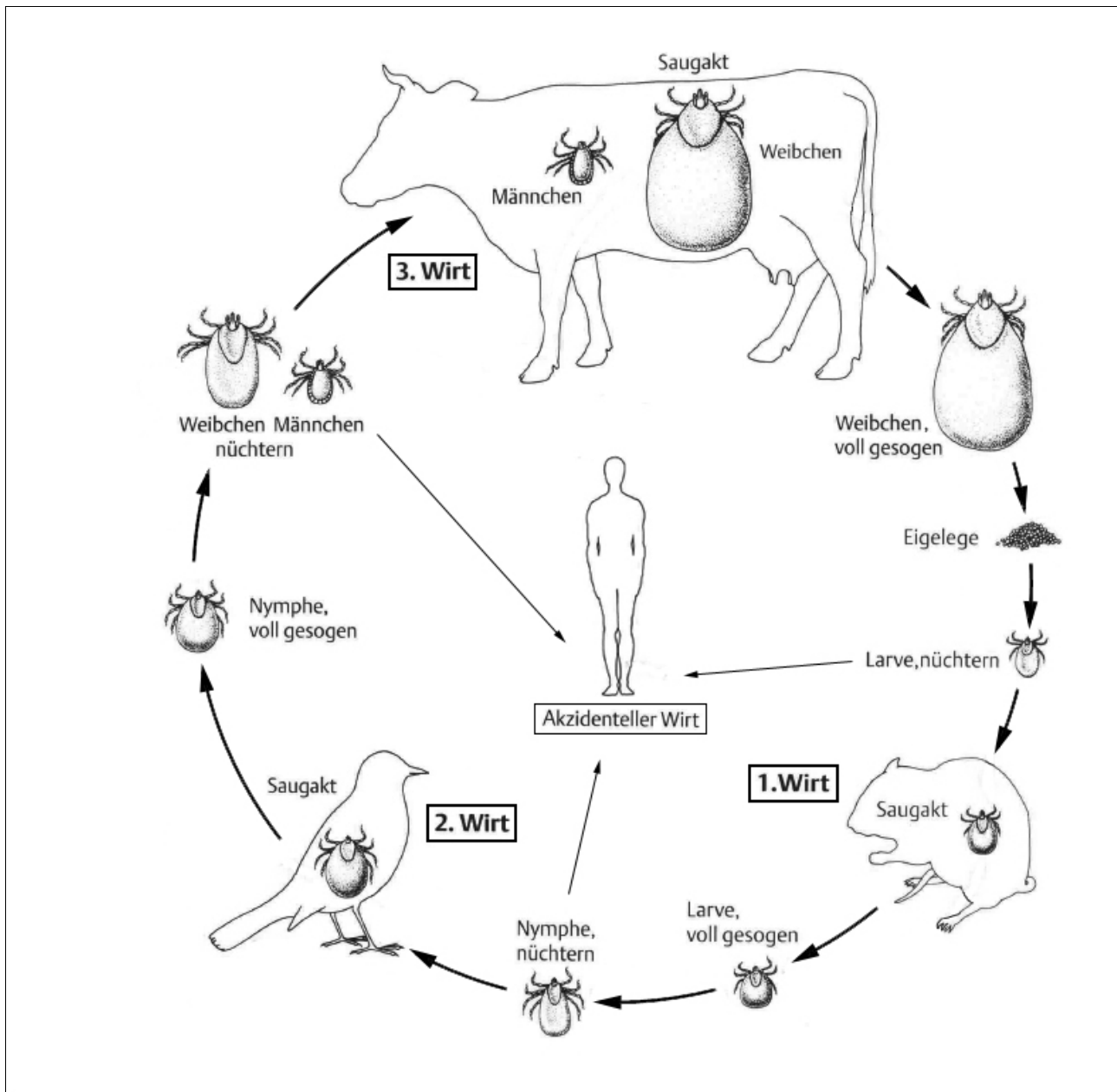


Abb. 2: Entwicklungszyklus von *Ixodes ricinus* (modifiziert nach Eckert *et al.* 2005)

2.4 Wirtstiere

Das Vorkommen von Zecken ist stark an jenes ihrer Wirtstiere gebunden, da jedes Zeckenstadium zur Weiterentwicklung Blut benötigt.

Nachdem ein Zeckenstadium einer dreiwirtigen Zecke sich an einem Wirt vollgesogen hat, verlässt es diesen und entwickelt sich zum nächsten Stadium weiter, welches seinerseits den nächsten Wirt aufsucht. In der Regel suchen sich Zecken Wirtstiere entsprechend ihrer Größe, da sich die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Zecken auch in verschiedenen Schichten der Vegetation aufhalten (Mejlon & Jaenson 1997). Larven werden überwiegend an Kleinsäugetern wie Mäusen und anderen Nagetieren gefunden, während Nymphen mittelgroße Säugetiere wie zum Beispiel Hasen, Kaninchen oder Füchse bevorzugen. Die adulten Zecken wiederum parasitieren vor allem an größeren Tieren wie Rehen, Wildschweinen oder Hunden. Diese Tatsache scheint allerdings mehr der Umgebung und der Ökologie geschuldet zu sein, in der die Zecken heranwachsen, da unter Versuchsbedingungen jedes Stadium an jedem Wirt saugt (Gray 2002, Habedank *et al.* 2006).

Schildzecken sind eine euryxene Zeckenart, das heißt sie können auf vielen verschiedenen Wirten parasitieren. So umfasst das Wirtstierspektrum von *I. ricinus* über 200 verschiedene Arten, unter anderem Reptilien, Vögel und Säugetiere (Hillyard 1996). Im Gegensatz dazu gibt es auch stenoxene Arten, die sich auf einige wenige Wirtstiere spezialisiert haben. Ein Beispiel hierfür sind Zecken der Untergattung *Boophilus*, welche überwiegend Rinder als Wirtstiere wählen (Eckert *et al.* 2005).

2.4.1 Wirtsfindung

Unter den verschiedenen Zeckenspezies haben sich zwei Strategien herauskristallisiert, mit deren Hilfe sie ihre Wirtstiere ausfindig machen. Hierbei wird zwischen den sogenannten „Jägern“ und den „Lauerern“ unterschieden.

Die meisten Schildzecken, wie zum Beispiel *I. ricinus*, haben einen relativ kleinen Bewegungsradius und lauern ihren Beutetieren an Orten auf, die diese häufig passieren. So finden sich solche Zecken häufig in der Nähe von Wanderwegen, Wildwechseln, Weideflächen und den Unterschlüpfen von Wildtieren (Eckert *et al.* 2005). Die wirtssuchenden Zecken klettern dabei auf die Spitzen bodennaher Vegetation und schwenken bei Annäherung eines potentiellen Wirtes ihr erstes Beinpaar, auf welchem das Hallersche Organ sitzt und welches somit exponiert wird, in Richtung des Stimulus.

Andere Arten, wie zum Beispiel *Hyalomma* oder *Amblyomma*, orten ihre Beute über einige Entfernung und nähren sich dieser dann aktiv an. In diesen Fällen wird von „Jägern“ gesprochen (Eckert *et al.* 2005).

Bei der Wirtstierfindung spielen viele verschiedene Faktoren eine Rolle. Neben taktilen Reizen wie Vibrationen und der Körperwärme werden Zecken auch von Duftstoffen und Komponenten der Atemluft des Wirtstieres wie Kohlenstoffdioxid (CO_2), Schwefelwasserstoff (H_2S), Laktonen, aromatischen Aldehyden und anderen Stoffen angezogen. Des Weiteren sind manche Arten in der Lage, Unterschiede in der Lichtintensität mit Hilfe von Photosensillen wahrzunehmen.

Sobald eine weibliche Zecke sich auf einem Wirt festgesaugt hat, sondert sie zudem Aggregationspheromone ab, welche männliche Zecken anlocken und des Weiteren auch der Ansiedlung weiterer Zecken auf dem Wirtstier dienen (Pfister 2006).

2.4.2 Saugakt

Nachdem das jeweilige Entwicklungsstadium der Zecke einen passenden Wirt gefunden hat, sucht die Zecke nach einer geeigneten Stelle für ihre Blutmahlzeit. Hat sie diese gefunden, wird die Haut mit Hilfe der Kieferklauen (Chelizeren) aufgeritzt und das mit Widerhaken versehene Hypostom in die Wunde eingeführt. Dies und die Sezernierung eines Haftstoffes aus den Speicheldrüsen, des sogenannten Zements, stellt sicher, dass die Mundwerkzeuge fest in der Haut verankert bleiben (Gray 2002). Im Gegensatz zu anderen blutsaugenden Parasiten stechen Zecken nicht direkt in die Blutgefäße, vielmehr

bilden sie mit Hilfe verschiedener vasoaktiver und immunsupprimierender sowie gerinnungs- und entzündungshemmender Substanzen aus ihrem Speichel einen sogenannten Ernährungs-Pool, in welchem das Blut nicht gerinnt und so von der Zecke über einen Zeitraum von mehreren Tagen aufgenommen werden kann. Die aufgenommene Blutmahlzeit wird durch die Extraktion von Wasser eingedickt und dieses zusammen mit nicht verdaulichen Bestandteilen durch Regurgitation in den Wirt zurückgeführt. Dieser Mechanismus ist auch dafür mitverantwortlich, dass Krankheitserreger in den Wirt gelangen können. Nach Beendigung des Saugvorganges lässt die Zecke von ihrem Wirt ab und löst sich, um anschließend mit der Verdauung zu beginnen. Falls es sich nicht bereits um eine adulte Zecke handelt, beginnt nach der Trennung vom Wirt ebenfalls die Entwicklung ins nächste Stadium, welche bis zu sechs Monaten dauern kann (Aspöck 2002).

2.5 Geographische Verbreitung

Da *I. ricinus* sowohl in Deutschland als auch im Rest von Europa die dominierende Zeckenart darstellt, wurden über ihre geographische Verbreitung die meisten Daten gesammelt.

Das Verbreitungsgebiet von *I. ricinus* umfasst die gemäßigten Klimazonen Europas von der Atlantikküste bis hin nach Asien sowie Teile Nordafrikas bis hinauf nach Island (Eckert *et al.* 2005, Sonenshine 1993). Grenzen sind dieser Verbreitung durch die klimatischen Bedingungen gesetzt. So fehlt *I. ricinus* lediglich in hochalpinen Gebirgsgegenden und in den nördlichen Regionen von Skandinavien (Aeschlimann 1972, MacLeod 1936).

Neben Faktoren wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist auch die Höhenlage ein entscheidendes Kriterium für das Vorkommen der Zecken. Während manche Quellen die Grenze für das Vorkommen von *I. ricinus* in Zentraleuropa mit 700 m über dem Meeresspiegel angeben (Daniel 1993), konnten andere auch noch auf 1200 m – 1500 m über dem Meeresspiegel Zecken beobachten, wenn auch in geringer Zahl (Aeschlimann 1972).

Sehr häufig sind die Zecken in einem Gebiet mosaikartig verteilt (Daniel 1993, Estrada-Penã 2003), so dass sich stark unterschiedlich besiedelte Standorte unmittelbar nebeneinander finden können. Dies liegt unter anderem an unterschiedlich hohem Wirtstiovorkommen in bestimmten Regionen sowie an anthropogenen Faktoren wie der Ausbreitung landwirtschaftlicher Monokulturen.

Am wichtigsten für die geographische Verbreitung der Zecken scheinen in der Tat klimatische Faktoren zu sein, da potentielle Wirtstiere auch außerhalb dieses Lebensraumes vorkommen (Horst *et al.* 2003).

Die Auwaldzecke, *D. reticulatus*, kam bis vor ca. 30 Jahren nur in kleinen Naturherden in Süddeutschland vor und wurde dort erstmalig 1973 am deutschen Rheinufer in der Nähe von Basel beschrieben (Immler 1973). 3 Jahre später berichteten auch Liebisch und Rahman (1976) von einem autochthonen Vorkommen von *D. reticulatus* in einem geschlossenen Mischwaldgebiet in der Nähe von Tübingen. Heute ist *D. reticulatus* viel weiter verbreitet und wurde bereits in vielen Regionen Deutschlands beschrieben. In Süddeutschland wurden vor allem Verbreitungsgebiete im Oberrheingraben, im Saarland und in Rheinland-Pfalz dokumentiert. Ebenso haben sich Populationsherde an den Isar-Auen rund um München und Regensburg, in Auwäldern entlang des Rheins in Baden-Württemberg, bei Kehl, Offenburg, Lahr, Emmendingen und Freiburg im Breisgau etabliert (Liebisch *et al.* 1985, Liebisch & Rahman 1976). Als Faktoren für die Ausbreitung werden die Renaturierung von landwirtschaftlichen Nutzflächen, eine Zunahme der Wirtstiere und die Klimaveränderung diskutiert (Heile *et al.* 2006).

Dermacentor marginatus weist zur Zeit noch eine kleinere Verbreitung als *D. reticulatus* auf. Sie wurde in Deutschland entlang des Rheingrabens von Rheinfeldern bis in die Gegend von Mainz und Wiesbaden gefunden. Auch entlang des Maingrabens wurde die Zecke zwischen Lörrach, Mainz und Bamberg sowie Forchheim inzwischen nachgewiesen. Weitere Gebiete, in denen *D. marginatus* nachgewiesen wurde, sind Wetzlar, Wiesloch und Karlsruhe, das Pfälzer Bergland, die Süd-Ost-Hänge des

Westerwaldes, der Nord-Ost-Rand der Schwäbischen Alb, der Osthang des Schwarzwaldes, der Neckar-Raum und das Gebiet um den Raum Saarbrücken mit der Verbindung zur französischen Zeckenpopulation (Liebisch & Rahman 1976, Liebisch *et al.* 1985).

2.6 Habitat

Die ausschlaggebenden Faktoren für ein geeignetes Zecken-Habitat sind vor allem die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit (MacLeod 1936), sowie das Vorkommen geeigneter Wirtstiere. *I. ricinus* kann in der Regel in Gebieten gefunden werden, deren Durchschnittstemperatur bei 8 °C im Jahr oder mehr liegt. Bei Temperaturdurchschnitten von weniger als 7 °C im Jahr wird der Parasiten-Wirt-Kreislauf unterbrochen, da die Zecken in eine Starre verfallen. Larven, Nymphen und Adulte können Temperaturen von -8 °C bis zu vier Tage lang überleben, Temperaturen über 35 °C töten Larven und Nymphen innerhalb von zwei Wochen ab, auch wenn gleichzeitig eine günstige Luftfeuchtigkeit herrscht (MacLeod 1935b). Optimal sind Temperaturen zwischen 17 °C und 20 °C (Kutzer 2000) und eine Mindest-Luftfeuchtigkeit von 70 %. Zusätzlich sollten mindestens 800 mm Niederschlag pro Jahr niedergehen, wobei für das Mikroklima vor Ort die bodennahe Vegetation eine größere Rolle spielt als der Niederschlag selbst (MacLeod 1936).

Da *I. ricinus* sehr empfindlich auf trockene Bedingungen reagiert, bevorzugt sie Gebiete, die vor Wind und Sonne geschützt sind und in denen die relative Luftfeuchtigkeit in unmittelbarer Bodennähe mehr als 75 % beträgt. Optimal sind 80 – 95 % relative Luftfeuchtigkeit (Hillyard 1996, Kutzer 2000). So stellt sie sicher, dass auch in den heißen und trockenen Sommermonaten eine andauernde Feuchtigkeit garantiert ist. Fällt die Luftfeuchtigkeit allerdings unter 70 %, können Larven, Nymphen und Adulte nur wenige Tage überleben (Aeschlimann 1972).

Vor allem die Randbereiche von Wiesen und Feldern zu Nadel-, Laub- und Mischwäldern, an denen die bodennahe Vegetation in Büsche und dichtes Unterholz übergeht und in denen der Boden fast ganzjährig von einer dicken Laub- und Humus-Schicht sowie von Moos bedeckt ist, bilden das ideale Habitat für *I. ricinus*. Geeignet sind auch feuchte Stellen in der Nähe von Bachläufen oder Seen, Waldlichtungen oder Waldwege (Horst *et al.* 2003, Sonenshine 1993). Die Zecken verbringen dort den größten Teil ihres Lebens. Reine Nadelholz-Wälder mit fehlendem oder geringem Unterwuchs hingegen bieten keine geeigneten Lebensbedingungen. Aus diesem Grund kommt *I. ricinus* auch nur in offenem Gelände vor, wenn dort ein ausreichender Bewuchs mit Stauden, Farnen und Büschen vorhanden ist. Eine Ausnahme bilden Gebiete, in denen das ganze Jahr über hohe Regenmengen niedergehen, wie zum Beispiel in Großbritannien (Gray 1985).

D. reticulatus kommt hauptsächlich in offenem Gelände, auf Weiden und landwirtschaftlich nicht genutzten Arealen vor. Im Gegensatz zu *D. marginatus* bevorzugt sie allerdings auch feuchtere Biotope wie Wiesen- und Sumpfniederungen entlang von Flussläufen, in denen nach der Schneeschmelze Überschwemmungen auftreten. Sie wird deshalb auch in Au- und Mischwäldern, Mooren und in der Nähe von Seeufern und Drainagegräben gefunden. Allerdings bedeutet dies nicht, dass *D. reticulatus* ausschließlich in feuchten Gebieten gefunden werden kann. Es wurden bereits Funde aus trockenen Kieferschönungen sowie stark kultivierten Gebieten beschrieben.

Je nach Entwicklungsstadium, in dem sich die jeweilige Zecke befindet, bevorzugt sie unterschiedliche Nischen in ihrem Habitat. Auch die Größe der jeweiligen Hauptwirte (Mäuse, Füchse, Damwild) spielt dabei eine Rolle (Sonenshine 1993). Die Larvenstadien finden sich für gewöhnlich in Gruppen in Bodennähe. Ihr vertikaler Aktionsradius ist begrenzt und beschränkt sich auf die Region im Bereich des Erdbodens. Nymphen haben bereits einen größeren Aktionsradius und sind vor allem an hohen Gräsern und Pflanzen zu finden. Larven und Nymphen befallen aufgrund dieses Aktionsradius vor allem kleinere Säugetiere wie zum Beispiel Nager, aber auch Reptilien und Vögel. Die Adultstadien

erklimmen auf der Suche nach einem Wirt die Spitze der von ihnen besiedelten Vegetation. Sie finden sich vor allem auf Großsäugern wie zum Beispiel Wildschweinen und Rehwild wieder. Der horizontale Aktionsradius der Zecken beträgt zwischen fünf und zehn Metern (Horst *et al.* 2003). Entgegen landläufiger Meinungen befinden sich Zecken während keinem ihrer Entwicklungsstadien auf Bäumen.

2.7 Aktivität

2.7.1 Jahreszeitliche Aktivität

Die Aktivität der Zecken ist, wie bereits weiter oben beschrieben, von der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit wie auch von der geografischen Lage abhängig.

Der Aktivitätsverlauf von *I. ricinus* in Mitteleuropa wird als bimodal bezeichnet. Es gibt ein Maximum im Frühjahr, ehe die Zeckenaktivität in den wärmeren und trockeneren Sommermonaten vor allem an sonnenexponierten Standorten für gewöhnlich nachlässt, und ein zweites kleineres Aktivitätsmaximum im Herbst (Aeschlimann 1972, Belozarov 1982, Gray 1985, 1991, 2002, Kahl & Knülle 1988). Dabei lässt sich noch genauer zwischen den adulten und subadulten Stadien unterscheiden. Die Adulten und die Larven haben ihren Höhepunkt im Frühjahr vorwiegend von Mai bis Juni, während die Nymphen in der Regel bereits ab April anzutreffen sind (Gray *et al.* 2009). Das zweite kleinere Aktivitätsmaximum aller Entwicklungsstadien im Frühherbst lässt sich von Mitte August bis in den September hinein feststellen. Während dieser beiden Aktivitätsphasen im Frühjahr und im Spätsommer finden die Wirtssuche, die Fortpflanzung und die Entwicklung der Zecken statt. Diese zweigipflige Verteilung ist für die gemäßigten Breiten Mittel- und Nordeuropas typisch (Gray 1985, Kalsbeek & Frandsen 1996). Bei milden Temperaturen und in wärmeren Regionen Europas wurden aber auch bereits vermehrt unimodale Aktivitätskurven beschrieben (MacLeod 1936, Sonenshine 1993). Diese vormals auf

wärmere Regionen beschränkte Verteilung findet sich inzwischen aber auch zunehmend in gemäßigten Klimazonen Mitteleuropas (Jensen & Kaufmann 2003, Kupča 2009, Pérez *et al.* 2012). Die verschiedenen Aktivitätsmuster hängen größtenteils vom Wasserhaushalt und Hydrationsgrad der Zecken ab, allerdings spielt auch die Temperatur vor allem in den Wintermonaten eine entscheidende Rolle für die Aktivität der neuen Zeckengeneration im kommenden Frühjahr (Randolph *et al.* 2000). Typischerweise werden unimodale Aktivitätsmuster vorwiegend in geschützten Habitaten beobachtet, während bimodale Aktivitätskurven eher im offenen Gelände auftreten, wo die Zecken während der heißen Sommermonate weniger aktiv sind (Jensen & Kaufmann 2003).

Auch andere Zeckenarten treten saisonal zweigipflig auf, so zum Beispiel *D. reticulatus*. Bei ihr liegt der Haupt-Aktivitätsgipfel aber früher als bei *I. ricinus*, nämlich bereits im Spätwinter und im Frühjahr, mit einem zweiten, deutlich kleineren Populationshöhepunkt im Herbst (Pfister 2006).

Die saisonale Aktivität der verschiedenen Entwicklungsstadien eines Gebiets weist immer ein ähnliches Muster auf (Sonenshine 1993). Das Muster der Populationshöhepunkte stimmt dabei mit dem Auftreten einiger Krankheiten des Menschen überein, die durch Zecken übertragen werden. Unter anderem zählen dazu die Borreliose oder die Anaplasmose (Gray 2002).

Außer dieser jahreszeitlichen Aktivität können auch noch detailliertere, tageszeitliche Unterschiede bei Zecken in Bezug auf Wirtssuche, Fortpflanzung und Eiablage ausgemacht werden (Jensen & Kaufmann 2003). So sind die Zecken vor allem am späten Nachmittag, am Abend und in der Nacht aktiv (Babenko 1974, Sonenshine 1993). Auch bei hoher Luftfeuchte vor und nach Gewittern und Regentagen kommt es zu Aktivitätshöhepunkten, vor allem bei subadulten Stadien (Sonenshine 1993).

2.7.2 Diapause

Bei ungünstigen Umweltbedingungen bedienen sich die Zecken eines Mechanismus, der Diapause genannt wird. Dabei handelt es sich um einen Zustand nach dem Eintritt in ein neues Entwicklungsstadium, in dem die Zecken nur eine sehr geringe metabolische Aktivität aufweisen. Diese Diapause sorgt dafür, dass ein Wachstum der Population nur dann stattfindet, wenn optimale Umgebungsbedingungen herrschen und verzögert die Aktivität der Zecken bis nach dem Hochsommer (Sonenshine 1993). Während dieser Zeit ziehen sich die Zecken in die oberflächlichen Bodenschichten der Vegetation oder auch bis zu 10 cm unter die Erde zurück. Ausgelöst wird die Diapause durch äußere Faktoren, vor allem durch die Tageslichtlänge (Belozerov 1982, Sonenshine 1991). Es gibt zwei verschiedene Formen der Diapause: die „behaviorial diapause“ und die „morphogenetic diapause“. Erstere tritt bei ungesogenen Zecken auf, um ungünstige klimatische Bedingungen zu überbrücken, während die zweite entwicklungsbedingt ist und vollgesogene Zecken in der Entwicklung zum nächsten Stadium betrifft (Belozerov 1982, Sonenshine 1993).

3. Material und Methoden

3.1 Standorte

3.1.1 Auswahl der Standorte

Insgesamt wurden 13 Standorte in 3 verschiedenen Bundesländern in Süddeutschland beprobt. Die Auswahl der Sammelgebiete erfolgte sowohl aufgrund der Beschreibung früherer Funde (Immler 1973, Liebisch & Rahman 1976, Süss *et al.* 2004, Zahler 1996), aufgrund der Klassifizierung als Risikogebiet (Dobler *et al.* 2007, Kimmig 2008, RKI 2010) als auch aufgrund geeignet erscheinender Biotopstrukturen. Dabei wurde vor allem ein Augenmerk auf eine für Zecken begünstigende Vegetation gerichtet, wie zum Beispiel Laubmischwälder mit einer ausgeprägten Laubstreuschicht. Es wurden vereinzelt aber auch Orte mit einer weniger begünstigenden Vegetation in die Untersuchung miteinbezogen.

Des Weiteren wurden an den so ausgewählten Orten Probesammlungen durchgeführt, um den optimalen Standort für die weiteren Untersuchungen zu bestimmen.

Um die Vegetation der Sammelgebiete näher zu dokumentieren, wurde die Umgebung samt eventueller Besonderheiten fotografisch festgehalten und darüber hinaus die jeweilige Flora mit Hilfe eines Pflanzenbestimmungsbuches (Licht 2011) ausführlich charakterisiert und im Folgenden beschrieben.

Informationen über das jeweilige Wildtiervorkommen wurde von den zuständigen Forst- und Jagdbehörden sowie den Jagdpächtern der jeweiligen Gebiete eingeholt.



Abb. 3: Übersicht über die Lage der beprobten Standorte (rot eingezeichnet)

3.1.2 Charakterisierung der Standorte

Mooswald

Das Untersuchungsgebiet „Mooswald“ (N 47° 59' 3.84" / O 7° 46' 15.96") befindet sich südwestlich der Stadt Freiburg im Breisgau im gleichnamigen Stadtwald. Es handelt sich hierbei um ein Waldsaumgebiet in unmittelbarer Nähe von Wanderwegen, einem Thermalbad und einer Hotelanlage, welches dadurch stark frequentiert ist.

Es ist ebenerdig und wird durch Laubgehölze wie Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.), Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) und Hainbuchen (*Carpinus betulus* L.) geprägt. In den unteren Vegetationsschichten finden sich vor allem Buschwindröschen (*Anemone nemorosa* L.), die zusammen mit der Gemeinen Brombeere (*Rubus fruticosus* L.), Echem Wurmfarne (*Dryopteris filix-mas* (L.) SCHOTT) und Wald-Seggen (*Carex sylvatica* HUDS.) einen dichten Bodenbelag ausbilden. Einige umgestürzte Bäume bieten des Weiteren ideale Wuchsbedingungen für verschiedene Baumpilze.

Vor Ort konnten Hinweise auf verschiedene Kleinsäuger festgestellt werden. Ebenfalls kommt in den Wäldern Rehwild (*Capreolus capreolus*) und Schwarzwild (*Sus scrofa*) vor, welches aufgrund der starken menschlichen Nutzung aber nur selten zu sehen ist. In den Jagdjahren 2010/2011 und 2011/2012 wurden im Jagdbezirk St. Georgen, zu dem der Standort Mooswald gehört, auf einer Fläche von 284 ha Wald, 289 ha Feld und 2 ha Wasser insgesamt 15 Rehe und 4 Wildschweine erlegt (Schäfer, persönliche Mitteilung).



Abb. 4 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Mooswald“

Meissenheim

Das Untersuchungsgebiet „Meissenheim“ (N 48° 24' 29.16" / O 7° 45' 22.32") liegt nahe der gleichnamigen Gemeinde in der Oberrheinischen Tiefebene im Naturschutzgebiet „Thomasschollen“ und grenzt fast unmittelbar an den Rhein an.

Bei der beprobten Fläche handelt es sich um einen Auwald, der an einem kleinen Wasserlauf liegt und von schmalen, häufig zugewucherten Pfaden durchzogen ist. Die Vegetation wird vorwiegend von Feldulmen (*Ulmus minor* MILL.), Hainbuchen (*Carpinus betulus* L.), Stieleichen (*Quercus robur* L.) und Gemeinen Eschen (*Fraxinus excelsior* L.) gebildet. Zudem findet sich in den Baumkronen die Weißbeerige Mistel (*Viscum album* L.). Die Strauch- und Krautschicht wird einem Feuchtgebiet entsprechend von Seggen

(*Carex spp.* L.), Sumpf-Seggen (*Carex acutiformis* EHRH.), Schachtelhalmen (*Equisetum spp.* L.) und Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea* L.) dominiert.

In der Fauna dominiert vor allem Rehwild (*Capreolus capreolus*), welches mit 15-20 Stück/100 ha Waldfläche am häufigsten vorkommt. Sporadisch kommt auch Schwarzwild (*Sus scrofa*) vor, während das Niederwildvorkommen in den vergangenen Jahren aufgrund des vermehrten Maisanbaus und einer zunehmenden Krähenpopulation stark zurückgegangen ist (Klotz, persönliche Mitteilung). Des Weiteren finden sich viele Wasservögel, wie z.B. Höckerschwan (*Cygnus olor*), Stockente (*Anas platyrhynchos*) und verschiedene Gänse (*Anserinae*).



Abb. 5 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Meissenheim“

Bostalsee

Das Untersuchungsgebiet „Bostalsee“ (N 49° 33' 23.098" / O 7° 3' 53.737") liegt im Landkreis Sankt Wendel im nördlichen Saarland.

Der Sammelort ist eine Feuchtwiese, welche direkt an einen Stausee angrenzt und nur am Rand von einigen Baumarten wie Stieleichen (*Quercus robur* L.), Hänge-Birken (*Betula pendula* ROTH) und Gemeinen Fichten (*Picea abies* (L.) H.KARST) flankiert wird. Der überwiegende Teil wird von einer stark ausgeprägten Krautschicht gebildet, welche unter

anderem Sumpf-Kratzdisteln (*Cirsium palustre* (L.) SCOP.), Himbeeren (*Rubus idaeus* L.), Sumpf-Schwertlilien (*Iris pseudacorus* L.), Besenginster (*Cytisus scoparius* (L.) LINK), Echte Engelwurz (*Angelica archangelica* L.), Wiesenkerbel (*Anthriscus sylvestris* (L.) HOFFM.), Wiesen-Sauerampfer (*Rumex acetosa* L.) und Echtes Johanniskraut (*Hypericum perforatum* L.) umfasst.

Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei dem Standort um ein Wasserschutzgebiet handelt, welches abseits der normalen Wege liegt und normalerweise nicht zu erreichen ist, findet man eine Vielzahl an verschiedenen Tierarten vor. Hierzu zählen unter anderem Rehwild (*Capreolus capreolus*), Rotfüchse (*Vulpes vulpes*), Feldmaus (*Microtus arvalis*) und Hermelin (*Mustela erminea*). Der Stausee wird zudem von verschiedenen Wasservögeln bevölkert, wie zum Beispiel Graugans (*Anser anser*), Blässhuhn (*Fulica atra*), Krickente (*Anas crecca*) und Stockente (*Anas platyrhynchos*) (Merker, persönliche Mitteilung).



Abb. 6 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Bostalsee“

Heiligenwald

Das Untersuchungsgebiet „Heiligenwald“ (N 49° 21' 4.176" / O 7° 5' 31.027") liegt rund 20 km nordöstlich von Saarbrücken und ist Teil der Gemeinde Schiffweiler.

Es befindet sich in einem Mischwald, welcher sich an einem Hang längs eines Wander- und Radweges entlang zieht und mit Laub- und Nadelhölzern wie Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.) und Weiß-Tannen (*Abies alba* MILL.) bestanden ist. Das gesamte Gebiet wird forstwirtschaftlich genutzt, so dass Teile des Waldbodens von gefällten Bäumen bedeckt sind. In der Krautschicht dominieren vor allem Echter Wurmfarne (*Dryopteris filix-mas* (L.) SCHOTT) und Gemeine Brombeeren (*Rubus fruticosus* L.), es finden sich aber auch Wald-Ziest (*Stachys sylvatica* L.) und Roter Fingerhut (*Digitalis purpurea* L.) sowie verschiedene Seggen (*Carex* spp. L.).

In der Fauna ist das Rehwild (*Capreolus capreolus*) mit 8-10 Stück/100 ha Waldfläche gut vertreten, wohingegen Schwarzwild (*Sus scrofa*) nur sporadisch auftritt und es kaum noch Niederwild zu beobachten gibt. An Kleinsäugern sind Mäuseartige (*Muroidea*) wie die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) und die Waldmaus (*Apodemus sylvaticus*) des Öfteren zu beobachten (Kreuzer, persönliche Mitteilung).



Abb. 7 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Heiligenwald“

Mönchberg

Das Untersuchungsgebiet „Mönchberg“ (N 48° 35' 15.457" / O 8° 55' 4.93") ist Teil des Naturschutzgebietes „Grafenberg“ am Keuperstufenrand des südwestlichen Schönbuchs.

Der dortige Sammelort liegt an einem forstwirtschaftlich genutzten Waldweg, der sich im Bereich des Sammelortes zu einer kleinen Lichtung ausweitet und von Laub- sowie vereinzelt Nadelbäumen umringt ist. Vorwiegend handelt es sich um Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.) und Gemeine Fichten (*Picea abies* (L.) H.KARST.). In der Strauchschicht findet man Hecken-Rosen (*Rosa corymbifera* BORCKH.) und Ebereschen (*Sorbus aucuparia* L.), die Krautschicht besteht aus Echtem Wurmfarne (*Dryopteris filix-mas* (L.) SCHOTT), Scharbockskraut (*Ficaria verna* [HUDS.]) und Wald-Seggen (*Carex sylvatica* L.).

Die Fauna in diesem Gebiet setzt sich zusammen aus einer guten Rehwild-Population (*Capreolus capreolus*) mit schätzungsweise 50-100 Tieren in einem Gebiet von 246 ha Wald- und 349 ha Feldfläche und einer schwankenden, aber dennoch guten Schwarzwildpopulation (*Sus scrofa*). Der Abschuss von Rehwild beläuft sich auf ungefähr 26 Tiere pro Jahr. Zudem kommen reichlich Rotfüchse (*Vulpes vulpes*) sowie Dachse (*Meles meles*), Feldhasen (*Lepus europaeus*) und Steinmarder (*Martes foina*) vor. Im Ortsrandbereich sind des Weiteren auch Hunde und Katzen vorhanden (Seitz & Hornikel, persönliche Mitteilung).



Abb. 8 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Mönchberg“

Neckarmühlbach

Das Untersuchungsgebiet „Neckarmühlbach“ (N 49° 16' 42.215" / O 9° 7' 39.799") liegt nahe der gleichnamigen Gemeinde im Neckar-Odenwald-Kreis. Kurz unterhalb des

Sammelortes, einem Laubwald in Hanglage, verläuft der Mühlbach, der wenige hundert Meter später in den Neckar mündet.

Die Flora ist hier geprägt durch Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.) und Hainbuchen (*Carpinus betulus* L.). Der Waldboden wird von einer dichten Krautschicht bestehend aus Buschwindröschen (*Anemone nemorosa* L.), Echem Wurmfarne (*Dryopteris filix-mas* (L.) SCHOTT), Wald-Seggen (*Carex sylvatica* L.) Wald-Ziest (*Stachys sylvatica* L.) und Großen Brennnesseln (*Urtica dioica* L.) bedeckt.

Ein Bestand an Rehwild (*Capreolus capreolus*) ist mit 12-14 Tieren/100 ha zwar vorhanden, aber immer mehr abnehmend. Schwarzwild (*Sus scrofa*) ist mit 10 Tieren/100 ha vertreten. Auch Niederwild nimmt mehr und mehr ab, es gibt noch vereinzelt Feldhasen (*Lepus europaeus*), während Wildkaninchen (*Oryctolagus cuniculus*) schon seit längerem nicht mehr vorkommen. (Schneider, persönliche Mitteilung).



Abb. 9 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Neckarmühlbach“

Ungelstetten

Das Untersuchungsgebiet „Ungelstetten“ (N 49° 24' 34.758" / O 11° 18' 15.721") ist Teil der Gemeinde Winkelhaid und liegt in Mittelfranken, am östlichen Rand des Lorenzer Reichswaldes.

Beim Sammelort handelt sich um einen Flechten-Kiefernwald, in dem verstärkt Waldkiefern (*Pinus sylvestris*) als Monokultur angepflanzt wurden. Der sandige Boden ist nur von einer relativ geringen Laubstreuschicht bedeckt, es dominiert hier eine feuchte Zwergstrauchvegetation bestehend aus Heidelbeeren (*Vaccinium myrtillus* L.) und Preiselbeeren (*Vaccinium vitis-idaea* L.). Vereinzelt treten Wald-Erdbeeren (*Fragaria vesca* L.) und Echter Wurmfarfarn (*Dryopteris filix-mas* (L.) SCHOTT) auf.

In der Fauna findet sich Rehwild (*Capreolus capreolus*) und Schwarzwild (*Sus scrofa*), jedoch nur wenig Niederwild wie Rotfuchs (*Vulpes vulpes*) und Wildkaninchen (*Oryctolagus cuniculus*). Der Abschuss beläuft sich auf 5,5 Rehe pro 100 ha und Jahr und auf 4-8 Wildschweine pro 100 ha und Jahr (Goldmann, persönliche Mitteilung).



Abb. 10 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Ungelstetten“

Sinzing

Das Untersuchungsgebiet „Sinzing“ (N 48° 59' 16.667" / O 12° 1' 9.977") liegt im Mündungswinkel der Flüsse Schwarze Laber und Donau, 8 Kilometer westlich von Regensburg.

Die Flora besteht aus einem ebenen Nadelwald mit relativ geringer Strauchschicht. Vor allem bestimmt die Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.) das Waldbild. Stieleichen (*Quercus robur* L.) und Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.) treten vereinzelt als Jungpflanzen auf. Die

Strauchschicht wird gebildet von Heidelbeeren (*Vaccinium myrtillus* L.), Brombeeren (*Rubus* sectio *Rubus* L.), Großen Brennnesseln (*Urtica dioica* L.) und Laubmoos (*Bryophyta* SCHIMP.).

Im Revier Sinzing kommt sehr viel Schwarzwild (*Sus scrofa*) und viel Rehwild (*Capreolus capreolus*) vor. Niederwild ist mit Ausnahme von Stockenten (*Anas platyrhynchos*) und Rotfuchs (*Vulpes vulpes*) sehr schlecht vertreten. Im Kalenderjahr 2010 wurden im Revier Sinzing 350 Rehe und 140 Wildschweine, aber lediglich 30 Feldhasen (*Lepus europaeus*) geschossen. All diese Angaben beziehen sich auf ein Gebiet von 7000 ha (Strauß, persönliche Mitteilung).



Abb. 11 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Sinzing“

Heidenheim

Das Untersuchungsgebiet „Heidenheim“ (N 49° 1' 50.956" / O 10° 42' 36.425") liegt nahe des Ortes Markt Heidenheim und ist Teil des Naturparks Altmühltal. Es wird in diesem Bereich durchzogen vom Hahnenkamm, einem Jura-Kalkstein-Ausläufer der Fränkischen Alb.

Bei dem Sammelort handelt es sich um einen leicht abschüssigen Waldsaumbereich in Feldnähe, der überwiegend von Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.) und Stieleichen (*Quercus robur* L.) bewachsen ist. Das Gebiet weist allerdings auch viele freie, von Gräsern wie

Wald-Seggen (*Carex sylvatica* L.) bewachsene Flächen auf. Des Weiteren findet man die Purpurrote Taubnessel (*Lamium purpureum* L.).

In der Fauna ist das Rehwild (*Capreolus capreolus*) der häufigste Vertreter. Aufgrund der Nähe zu landwirtschaftlich genutzten Flächen sind unter anderem auch Feldmäuse (*Microtus arvalis*) und Feldhasen (*Lepus europaeus*) in größeren Mengen zu beobachten (Oster, persönliche Mitteilung)



Abb. 12 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Heidenheim“

Elchingen

Bei dem Untersuchungsgebiet „Elchingen“ (N 48° 26' 23.622" / O 10° 5' 48.109") handelt es sich um ein unmittelbar an die Donau angrenzendes Gebiet an einem kleinen See, rund 10 Kilometer östlich von Neu-Ulm.

In diesem Gebiet findet sich ein fast undurchdringlicher Auwald mit einer sehr hochgewachsenen Strauchschicht, die vor allem von Rotem Hartriegel (*Cornus sanguinea* L.) und Schwarzem Holunder (*Sambucus nigra* L.) gebildet wird. Vereinzelt findet man die Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior* L.). Die dichte Krautschicht besteht unter anderem aus Kratzbeeren (*Rubus caesius* L.), Wald-Zwenke (*Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P.Beauv.), Großen Brennnesseln (*Urtica dioica* L.), Wald-Ziest (*Stachys sylvatica* L.), Gundermann (*Glechoma hederacea* L.) und Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea* L.).

Die Fauna setzt sich zusammen aus einer kleinen Anzahl Rehwild (*Capreolus capreolus*) (36 Tiere im Revier Ober- und Unterelchingen), während Schwarzwild (*Sus scrofa*) in diesem Gebiet nicht vorkommt. Des Weiteren kann man Feldhasen (*Lepus europaeus*), Wildkaninchen (*Oryctolagus cuniculus*), viele Steinmarder (*Martes foina*) und Rotfüchse (*Vulpes vulpes*) beobachten, wobei letztere durch die Räude bedroht sind. Auch Waschbären (*Procyon lotor*) wurden schon vereinzelt in dem Gebiet gesichtet. Vertreter des Federwilds sind vor allem Graugans (*Anser anser*) und Stockente (*Anas platyrhynchos*) (Bayer, persönliche Mitteilung).



Abb. 13 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Elchingen“

Dambach

Das Untersuchungsgebiet „Dambach“ (N 49° 0' 18.994" / O 10° 20' 21.44") befindet sich im Ostalbkreis und ist Teil des Mittelfränkischen Beckens.

Die beprobte Stelle ist ein Waldsaubereich, welcher überwiegend von Nadelhölzern wie Gemeinen Fichten (*Picea abies* (L.) H.KARST.) und nur vereinzelt Laubhölzern wie Stieleichen (*Quercus robur* L.) bewachsen ist und zur östlichen Seite hin an Felder angrenzt. Die Krautschicht besteht zum größten Teil aus Heidelbeeren (*Vaccinium myrtillus* L.), welche sich mit bewuchslosen, nadelbedeckten Bodenflächen abwechselt.

Weitere Pflanzen der lokalen Fauna sind Roter Fingerhut (*Digitalis purpurea* L.) und Echter Wurmfarne (*Dryopteris filix-mas* (L.) SCHOTT).

An diesem Sammelort kommt Rehwild (*Capreolus capreolus*) vor, während Schwarzwild (*Sus scrofa*) schon seit längerem nur noch vereinzelt auf dem Durchzug zu beobachten ist. Dafür findet man aber viele Rotfüchse (*Vulpes vulpes*) und auch Feldhasen (*Lepus europaeus*). In den feldnahen Bereichen und auf freier Flur kann man zudem diverses Federwild wie zum Beispiel Mäusebussarde (*Buteo buteo*) beobachten. Der jährliche Abschuss beläuft sich auf 10 Rehe pro Jahr und ca. 25 Stück Niederwild (König, persönliche Mitteilung).



Abb. 14 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Dambach“

Schalding

Das Untersuchungsgebiet „Schalding“ (N 48° 36' 34.254" / O 13° 21' 48.499") ist nahe der Gemeinde Schalding links der Donau gelegen und ist Teil des Passauer Stadtteils Hacklberg.

Bei dem untersuchten Gebiet handelt es sich um einen forst- und feldwirtschaftlich genutzten Weg in einem überwiegend von Nadelhölzern bewachsenen Wald sowie auch um angrenzende Gebiete. Die Baumschicht wird hierbei von Stieleichen (*Quercus robur* L.), Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) und Gemeinen Fichten (*Picea abies* (L.)

H.KARST.) gebildet. Der Waldboden selber weist eine sehr geringe Kraut- und Strauchschicht auf. Hier wechseln sich unbewachsene Bodenbereiche mit Bereichen ab, in denen Wald-Habichtskraut (*Hieracium murorum* L.), Zweiblättrige Schattenblume (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W.SCHMIDT), Wiesen-Pippau (*Crepis biennis* L.) und Wald-Seggen (*Carex sylvatica* L.) zu finden sind.

Die Fauna dieses Gebietes ist äußerst vielfältig. Man findet hier viel Rehwild (*Capreolus capreolus*) und eine große Menge an Niederwild. Hier wäre unter anderem zu nennen: Feldhase (*Lepus europaeus*), Rotfuchs (*Vulpes vulpes*), Steinmarder (*Martes foina*), Hermelin (*Mustela erminea*) und Dachs (*Meles meles*). Das Federwild wird überwiegend vertreten durch Türkentaube (*Streptopelia decaocto*) und Rabenkrähe (*Corvus corone corone*) (Führlinger, persönliche Mitteilung).



Abb. 15 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Schalding“

Unterföhring

Das Untersuchungsgebiet „Unterföhring“ (N 48° 12' 12.496" / O 11° 38' 44.988") liegt innerhalb des gleichnamigen Münchener Stadtteils, in unmittelbarer Nähe des Poschinger Weihers, welcher wiederum Teil der nördlichen Isarauen ist. Es handelt sich hierbei um ein Naherholungsgebiet, welches stark von Wanderern und Spaziergängern frequentiert wird.

Die Flora in diesem Teil des Weihers wird geprägt von Hainbuchen (*Carpinus betulus* L.) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.), vor allem aber durch die sehr dichte und fast undurchdringliche Strauchschicht, die zum größten Teil von Giersch (*Aegopodium podagraria* L.) gebildet wird. Weitere Pflanzen, die in diesem Gebiet vorkommen, sind Echter Seidelbast (*Daphne mezereum* L.), verschiedene Seggen (*Carex* spp. L.) sowie die Hunds-Rose (*Rosa canina* L.).

Aufgrund der Tatsache, dass der Poschinger Weiher ein beliebtes Ausflugsziel ist, sind viele Tierarten tagsüber kaum zu beobachten und ihr Vorkommen daher schwer zu schätzen. Es gibt ein bestätigtes Rehwild-Vorkommen (*Capreolus capreolus*), wohingegen Schwarzwild (*Sus scrofa*) bereits seit 15 Jahren nicht mehr gesichtet wurde. Rotfüchse (*Vulpes vulpes*) sind häufig vertreten, vereinzelt kommen auch Dachse (*Meles meles*), Steinmarder (*Martes foina*) und Feldhasen (*Lepus europaeus*) vor. In den Wintermonaten bietet das im See befindliche Vogelschutzgebiet einen Rastplatz für Krickente (*Anas crecca*), Schnatterente (*Anas strepera*) und Löffelente (*Anas clypeata*). Weiter vorkommendes Federwild sind Fasan (*Phasianus colchicus*), Rabenvögel (*Corvidae*), Elster (*Pica pica*), Mäusebussard (*Buteo buteo*) und Eichelhäher (*Garrulus glandarius*) (Seidel, persönliche Mitteilung).



Abb. 16 a, b: Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Unterföhring“

3.2 Sammeln der Zecken

3.2.1 Sammelmethode

Die Vielzahl der verschiedenen Zeckenarten in der freien Wildbahn macht teilweise unterschiedliche Sammelmethoden erforderlich. Es gibt mehrere beschriebene Methoden, mit deren Hilfe Zecken gesammelt werden können. Die am häufigsten angewandten Methoden zum Sammeln von Zecken wurden von Gray (1985) in 3 Kategorien aufgeteilt: die Flaggen-Methode, mit Kohlendioxid-Ködern bestückte Fallen und das Absammeln von Wirtstieren (Ginsberg & Ewing 1989). Jede dieser Methoden zielt auf verschiedene Zeckenarten sowie unterschiedliche Entwicklungsstadien ab, da sich diese in ihrer Wirtsfindung teilweise stark unterscheiden (vgl. Kapitel 2.5).

Alle in dieser Arbeit genannten 13 Standorte wurden in dem Zeitraum von Februar 2011 bis Dezember 2011 in monatlichen Abständen beprobt. Der Januar wurde ausgelassen, da zu diesem Zeitpunkt noch eine geschlossene Schneedecke an sämtlichen Sammelorten vorherrschte. Hierbei wurde die sogenannte Fahnen- oder Flaggen-Methode (MacLeod 1935a) angewandt, welche auch im Rahmen des EDEN-Projektes (<http://www.eden-fp6project.net/>) empfohlen wurde. Bei dieser häufig angewandten Methode wird eine Flagge (bestehend aus einem weißen Molton-Baumwollstoff mit grober Struktur, welcher an einer Holzstange befestigt ist) dicht über die bodennahen Schichten der Vegetation gezogen und in regelmäßigen Abständen (in diesem Fall alle 4 m) auf Zecken kontrolliert. Nüchterne, auf Wirtssuche befindliche Zecken reagieren auf den taktilen Reiz, welcher ein potentiell Wirtstier imitiert, und klammern sich an den Stoff der Zeckenfahne (Sonenshine 1993). Für diesen Vorgang reicht bereits ein Kontakt aus, welcher nur wenige Sekundenbruchteile andauert. Die Zecken werden im Anschluss an jeden Zug mit einer Federstahl-Pinzette von dem Tuch abgesammelt, da mit steigender Streckenlänge die Gefahr zunimmt, dass Zecken verloren gehen und somit die

Sammelstatistik massiv verfälscht wird. Zur Aufbewahrung dienen 15 ml-Zentrifugen-Röhrchen, welche mit 70%igem Ethanol gefüllt sind.

Um repräsentative Proben zu erhalten, die sich miteinander vergleichen lassen, wurde beim Sammeln vor allem auf folgende Parameter geachtet:

1. Die Probenentnahme fand immer zur selben Tageszeit statt, dabei jedoch unabhängig von der jeweiligen Witterung.
2. Als Fangfläche wurde jeweils eine Bodenfläche von 100 m² festgelegt.
3. Es wurden standardisierte Baumwollflaggen mit den Maßen 1 m x 1 m verwendet, welche in Zügen von 25 x 4 m über die Vegetation gezogen wurden. (Abb. 17 a)
4. Die Probenentnahme wurde immer von der selben Person durchgeführt.

Um möglichst alle Aspekte des jeweiligen Gebietes zu erfassen, wurden (sofern vorhanden) gleichermaßen sonnige als auch schattige Bereiche beprobt und auch Bereiche mit unterschiedlichem Bodenbewuchs in die Untersuchung miteinbezogen.



Abb. 17: a) Sammeln der Zecken mittels Zeckenflagge, b) Absammeln der Zecken von der Flagge mit Hilfe einer Pinzette

3.2.2 Identifizierung der Zecken

Im Labor wurden die in 70%igem Ethanol eingelegten Zecken mit Hilfe einer Stereolupe (Wild M 400 Photomakroskop, Wild Heerbrugg Switzerland) untersucht. Dabei erfolgte die Bestimmung von Gattung, Art und Geschlecht der gesammelten Zecken anhand von institutseigenen mikroskopischen Aufnahmen und publizierten Bestimmungsschlüsseln (Arthur 1963, Hillyard 1996). In diesen werden anhand von grafischen Darstellungen die morphologischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Zeckenspezies dargestellt. So sind unter anderem die Lage des Capitulum, die Form und Musterung des Scutum, die Analfurche, der Genitalpore und die Ausprägung der Sporen an den Coxae des 1. Beinpaars wichtige Merkmale, welche eine Unterscheidung und Zuordnung der Zecken möglich machen.

3.2.3 Erfassen der Klimadaten

Da das Klima eine entscheidende Rolle bei der Populationsdynamik der Zecken spielt, wurden während einer jeden Sammlung an jedem Sammelort die aktuellen Temperatur- und Luftfeuchtwerte ermittelt und die aktuelle Witterung genau beschrieben. Zum Einsatz kam hierbei ein Thermohygrometer (P330 Handmessgerät, Carl Roth GmbH Karlsruhe), welches eine kombinierte Anzeige für beide Werte besitzt. Die Werte wurden zu Beginn jeder Sammlung sowohl in Bodennähe als auch in 1 m Höhe ermittelt. Die Temperatur im Erdboden wurde mit Hilfe eines analogen Einstichthermometers (Hersteller unbekannt) in 10 cm Tiefe bestimmt (vgl. Tab. 8-20 Anhang).

Zusätzlich wurden nach Abschluss der Sammeltouren für eine spätere Auswertung Wetterdaten von nahegelegenen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) angefordert und in die Statistik miteinbezogen. Es handelte sich dabei um die Tageswerte für Niederschlagsmenge, Sonnenscheindauer, Lufttemperatur und relative Luftfeuchte, sowie um die Durchschnittswerte für die genannten Klimafaktoren der

vergangenen 3 Tage vor Beginn einer jeden Sammlung. Einen Überblick über die Lage der verwendeten Stationen bietet Tabelle 2.

Tabelle 2: Auflistung & Lage der Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und ihre Entfernung zu den jeweiligen Sammelorten

| | Name des Sammelortes | Stationsnummer & Name der Wetterstation | Geografische Lage | Entfernung zum Sammelort |
|-----------|-----------------------------|--|--------------------------|---------------------------------|
| 1 | Mooswald | ID 1443, Freiburg, Baden-Württemberg | 48.02 N / 7.84 O | 6,54 km |
| 2 | Meissenheim | ID 2812, Lahr, Baden-Württemberg | 48.37 N / 7.83 O | 6,92 km |
| 3 | Bostalsee | ID 5029, Tholey, Saarland | 49.47 N / 7.04 O | 9,62 km |
| 4 | Heiligenwald | ID 5029, Tholey, Saarland | 49.47 N / 7.04 O | 13,77 km |
| 5 | Mönchberg | ID 2158, Pforzheim, Baden-Württemberg | 48.81 N / 8.44 O | 42,88 km |
| 6 | Neckarmühlbach | ID 6244, Eppingen, Baden-Württemberg | 49.17 N / 9.07 O | 12,76 km |
| 7 | Ungelstetten | ID 3667, Nürnberg-Netzstall, Bayern | 49.43 N / 11.26 O | 3,95 km |
| 8 | Sinzing | ID 4104, Regensburg, Bayern | 49.04 N / 12.01 O | 5,88 km |
| 9 | Heidenheim | ID 5440, Weißenburg, Bayern | 49.02 N / 10.96 O | 18,25 km |
| 10 | Elchingen | ID 3485, Neuburg/Kammel- Langenhaslach, Bayern | 48.31 N / 10.38 O | 25,42 km |

Material und Methoden

| | | | | |
|-----------|--------------|--|-------------------|----------|
| 11 | Dambach | ID 7369, Feuchtwangen- Heilbronn, Bayern | 49.16 N / 10.37 O | 17,28 km |
| 12 | Schalding | ID 4354, Saldenburg- Entschenreuth, Bayern | 48.78 N / 13.32 O | 19,16 km |
| 13 | Unterföhring | ID 3379, München-Stadt, Bayern | 48.16 N / 11.54 O | 9,22 km |

3.3 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde die Anzahl, die Art, das Geschlecht und das Entwicklungsstadium der Zecken festgestellt. Um zu untersuchen, ob es einen Zusammenhang zwischen den ermittelten Klima-Daten und der Anzahl der gesammelten Larven, Nymphen und Adulten gibt, kamen Streudiagramme und anschließend ein generalisiertes additives gemischtes Modell mit Poisson-Verteilung und dem Logarithmus als Linkfunktion zum Einsatz. Im Gegensatz zu einer linearen Regression betrachtet die Poisson-Regression alle Einflüsse simultan und verhindert somit, dass ein vermeintlicher Zusammenhang zwischen zwei Variablen eigentlich über eine dritte Variable zustande kommt. Die Modelle umfassen einen zufälligen Intercept für den Ort und berücksichtigen somit den Effekt wiederholter Messungen am selben Ort für verschiedene Zeitpunkte. Um gültige p-Werte zu erhalten, wurde keine Modellwahl durchgeführt (Hurvich & Tsai 1990). Stattdessen wurden alle erhobenen Variablen in die Betrachtung eingeschlossen, bei denen ein Einfluss auf die Zielgrößen als möglich angesehen wurde. Da die Annahme eines linearen Zeiteffekts (Variable "Monat") zu restriktiv gewesen wäre, wurden glatte Terme aufgenommen, um eine flexible Modellierung zu ermöglichen. In die Modelle für die Anzahl adulter Zecken und Nymphen wurden auch für alle anderen Kovariablen glatte Terme eingeschlossen. Es war nicht möglich, solch ein komplexes Modell an die Daten bezüglich der Larvenanzahl anzupassen, möglicherweise wegen einiger extremer Beobachtungen. Für die statistische Analyse wurde R Version 2.13.0 (R Development Core Team) verwendet. Generalisierte additive gemischte Modelle wurden angepasst, indem das R Paket "amer" verwendet wurde, welches unter folgender Adresse zu finden ist: CRAN-Package amer [<http://cran.r-project.org/web/packages/amer/index.html>].

4. Ergebnisse

4.1 Anzahl und saisonale Aktivität der Zecken

In dem Zeitraum von Februar 2011 bis Dezember 2011 wurden an 13 Standorten insgesamt 14.394 Zecken (7862 Larven, 5568 Nymphen, 455 weibliche Zecken und 509 männliche Zecken) gesammelt. 14.383 Zecken gehörten der Art *I. ricinus* an, während 11 Zecken der Art *D. reticulatus* zuzuordnen waren.

Innerhalb der verschiedenen Sammelgebiete gab es teilweise massive Unterschiede in der Verteilung der verschiedenen Zeckenstadien (Tab. 3). So variierte das Vorkommen von Larven, bezogen auf die Gesamtpopulation am jeweiligen Standort, zwischen 2,6 % am Sammelort Unterföhring und 77,8 % am Sammelort Heiligenwald. Der Anteil der Nymphen an der Gesamtzahl aller gefundenen Zecken variierte zwischen 19,2 % am Sammelort Heiligenwald und 85,9 % am Sammelort Unterföhring. Der Anteil der Adulten in Relation zur Gesamtzeckenzahl belief sich auf 2,4 % am Sammelort Sinzing und 22,9 % am Sammelort Ungelstetten. Des Weiteren lagen große Varianzen in der Gesamtanzahl der Zecken bezogen auf die verschiedenen Standorte vor. So fanden sich am Standort Heiligenwald insgesamt 5009 Zecken, wohingegen der Standort Unterföhring mit insgesamt nur 78 Zecken im gesamten Jahr die geringste Anzahl aufwies.

Tabelle 3: Prozentuale Verteilung der Zeckenstadien an den Sammelorten

| Ort | Larven | Nymphen | Adulte | Gesamt |
|------------|--------------|--------------|------------|--------|
| Bostalsee | 64 (15,4 %) | 318 (76,6 %) | 33 (8 %) | 415 |
| Dambach | 403 (54,6 %) | 273 (37 %) | 62 (8,4 %) | 738 |
| Elchingen | 309 (29,7 %) | 641 (61,7 %) | 89 (8,6 %) | 1039 |
| Heidenheim | 444 (58 %) | 295 (38,5 %) | 27 (3,5 %) | 766 |

Ergebnisse

| | | | | |
|----------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Heiligenwald | 3895 (77,8 %) | 963 (19,2 %) | 151 (3 %) | 5009 |
| Meissenheim | 1014 (50,8 %) | 844 (42,3 %) | 138 (6,9 %) | 1996 |
| Mönchberg | 453 (36,7 %) | 651 (52,8 %) | 130 (10,5 %) | 1234 |
| Mooswald | 137 (24,3 %) | 315 (56 %) | 111 (19,7 %) | 563 |
| Neckarmühlbach | 630 (58,7 %) | 377 (35,1 %) | 66 (6,2 %) | 1073 |
| Schalding | 125 (23,3 %) | 325 (60,5 %) | 87 (16,2 %) | 537 |
| Sinzing | 475 (62,7 %) | 265 (35 %) | 18 (2,4 %) | 758 |
| Ungelstetten | 38 (20,2 %) | 107 (57,9 %) | 43 (22,9 %) | 188 |
| Unterföhring | 2 (2,6 %) | 67 (85,9 %) | 9 (11,5 %) | 78 |
| Gesamt | 7862 (54,6 %) | 5568 (38,7 %) | 964 (6,7 %) | 14394 |

Aufgrund einer durchgängig geschlossenen Schneedecke im Januar begannen die ersten Sammlungen erst im Februar 2011. Bereits im Februar konnten wirtssuchende Zecken aller Entwicklungsstadien gefunden werden. Diese blieben bis in den November hinein aktiv, lediglich im Monat Dezember wurden (mit Ausnahme einer einzelnen Nymphe) keine Zecken mehr gefunden.

Die Aktivität der verschiedenen Zeckenstadien stellte sich wie folgt dar: Die Aktivität der Larven begann Ende April und stieg in den Sommermonaten stark an, bevor die Zahlen zurückgingen und die letzten Larven im Oktober und ganz vereinzelt im November gefunden wurden. Nymphen waren von Februar an aktiv und hatten ihren Aktivitätshöhepunkt in den Monaten April und Mai. Sie konnten bis in den November hinein nachgewiesen werden, eine einzelne Nymphe konnte auch noch im Dezember festgestellt werden. Die adulten Zecken hatten ihren Aktivitätshöhepunkt im Mai, nachdem sie von Februar bis November aktiv waren (Tab. 4, Abb. 23-35 Anhang). Die statistische Verteilung der verschiedenen Entwicklungsstadien in Bezug auf die Monate zeigen die Abbildungen 18 a-c.

Ergebnisse

Bezogen auf die Gesamtzahl aller gesammelten Zecken konnte ein Aktivitätsmaximum im Mai festgestellt werden, vereinzelt aber auch schon im April oder im Juni und Juli. Bimodale Aktivitätsverläufe mit einem hohen Peak im Frühjahr und einem kleineren Peak im Herbst konnten längst nicht an allen Standorten beobachtet werden. Vielmehr lag öfter eine unimodale Verteilung der Wirtssuchaktivitäten vor, erneute Aktivitätsmaxima im Herbst konnten in diesen Fällen nicht festgestellt werden.

Tabelle 4: Prozentuale Verteilung der Zeckenstadien nach Monaten

| Monat | Larven | Nymphen | Adulte | Gesamt |
|-----------|---------------|---------------|--------------|--------|
| Februar | 3 (3,3 %) | 69 (75,8 %) | 19 (20,9 %) | 91 |
| März | 1 (0,2 %) | 464 (84,5 %) | 84 (15,3 %) | 549 |
| April | 101 (6 %) | 1412 (83,3 %) | 183 (10,8 %) | 1696 |
| Mai | 1606 (48,3 %) | 1424 (42,8 %) | 296 (8,9 %) | 3326 |
| Juni | 1987 (63,1 %) | 1013 (32,2 %) | 150 (4,8 %) | 3150 |
| Juli | 1915 (75 %) | 543 (21,3 %) | 94 (3,7 %) | 2552 |
| August | 1805 (81,9 %) | 341 (15,5 %) | 59 (2,7 %) | 2205 |
| September | 389 (72,6 %) | 115 (21,5 %) | 32 (6 %) | 536 |
| Oktober | 46 (18,2 %) | 173 (68,4 %) | 34 (13,4 %) | 253 |
| November | 9 (25,7 %) | 13 (37,1 %) | 13 (37,1 %) | 35 |
| Dezember | 0 (0 %) | 1 (100 %) | 0 (0 %) | 1 |

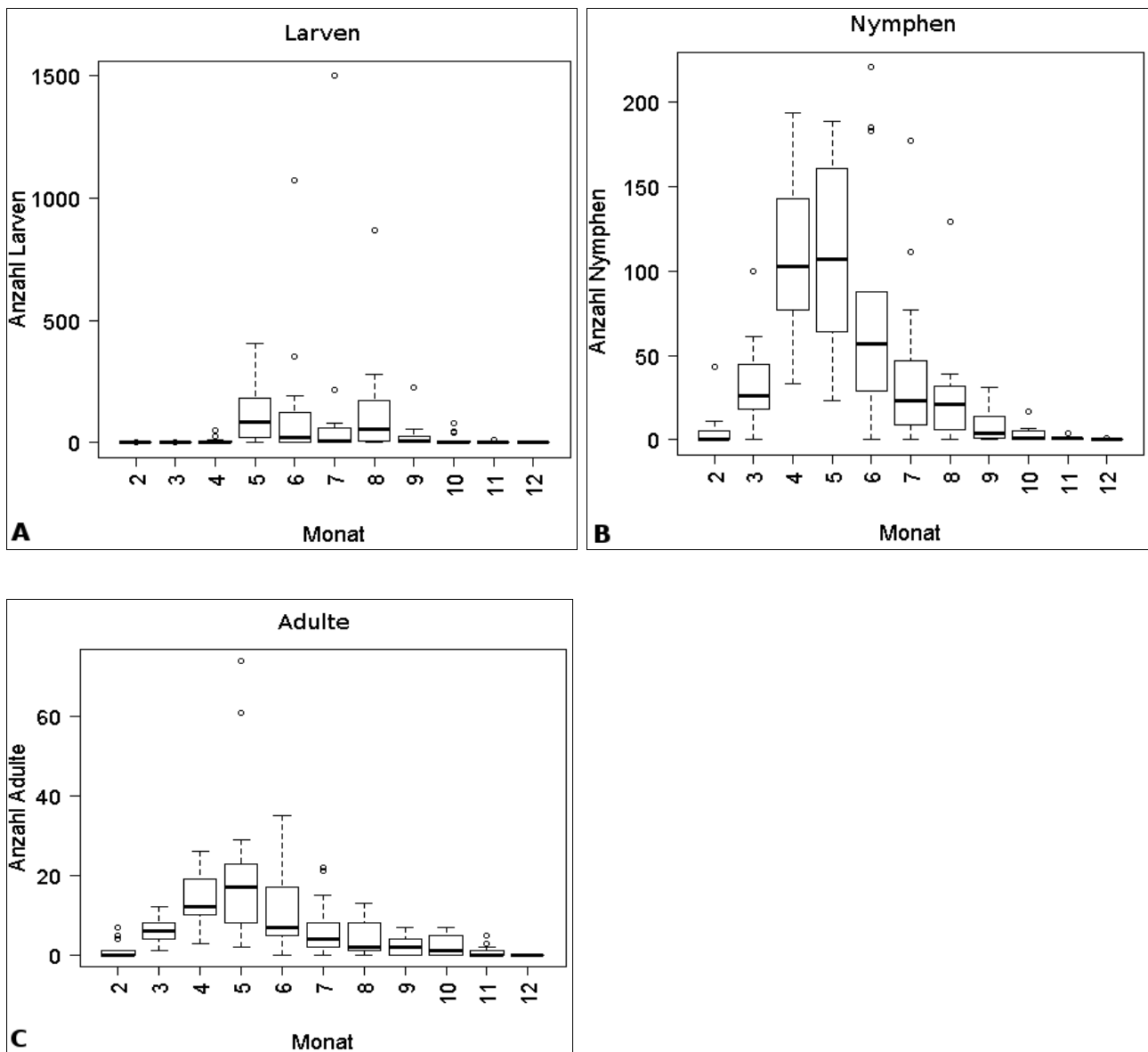


Abb. 18 a, b, c: Statistische Verteilung der gesammelten Larven **(a)**, Nymphen **(b)** und Adulten **(c)** in Bezug auf die Monate. **x-Achse:** Monate im Jahr 2011, **y-Achse:** Anzahl der gesammelten Zecken.

4.2 Klimadaten

Die relative Luftfeuchte variierte an den verschiedenen Sammelorten zwischen Tiefstwerten von 39,6 % und Höchstwerten von 90,2 %.

Die niedrigste Lufttemperatur während des Sammelns wurde an 8 der 13 Sammelorte im Monat Dezember gemessen. Die Temperaturen reichten von -3,3 °C bis 4,1 °C und lagen im Durchschnitt bei 0,6 °C. Die anderen 4 Sammelorte wiesen ein Minimum im November auf. Die Temperaturen reichten hier von 0,5 °C bis 6,2 °C, mit einer Durchschnittstemperatur von 2,9 °C. Ein einzelner Sammelort hatte sein Minimum bei 8,1 °C.

Das Maximum der Lufttemperatur des Mikroklimas wurde in 8 der 13 Untersuchungsgebieten im Monat August erreicht und lag durchschnittlich bei 21,8 °C, in den restlichen 5 Untersuchungsgebieten lag das Maximum im Monat Juni bei durchschnittlich 21,9 °C. Bei lokal gemessenen Temperaturen unter 1,1 °C konnten an keiner Sammelstelle Zecken gefunden werden.

Die von den entsprechenden Wetterstationen des DWD gemessenen Werte liefern ein ähnliches Bild (Abb.19), jedoch war hier der Januar – in dem keine Sammlung und damit keine Temperaturmessung vor Ort stattgefunden hat – der kälteste Monat. Von allen Standorten war im direkten Vergleich Meissenheim der durchschnittlich wärmste Sammelort mit einer Temperaturdifferenz von bis zu 5,5 °C, dicht gefolgt vom ebenfalls in Südbaden gelegenen Standort Mooswald nahe Freiburg. Die niedrigsten Durchschnittstemperaturen wurden am Standort Schalding in der Nähe von Passau gemessen. Hier gab es Abweichungen von den Durchschnittstemperaturen der anderen Standorte von bis zu 2,5 °C.

Die jährliche Gesamtniederschlagsmenge lag an allen Standorten bei über 600 mm. Die geringste Niederschlagsmenge wurde am Standort Heidenheim mit 618,9 mm verzeichnet, die höchste Niederschlagsmenge wurde am Standort Unterföhring gemessen und lag mit 972,3 mm mehr als ein Drittel höher (Abb. 20). Die durchschnittliche

Niederschlagsmenge aller Standorte lag somit mit 733 mm unter der bundesweiten durchschnittlichen langjährigen Niederschlagsmenge von 789 mm (DWD 2012).

Die jährliche Sonnenscheindauer schwankte an allen Standorten um einen Mittelwert von 1947,9 h, mit Werten von 1787,3 h am Standort Sinzing bis zu 2085,3 h am Standort Unterföhring. Deutschlandweit wurde ein Mittelwert von 1847 h für das Jahr 2011 erreicht (DWD 2012).

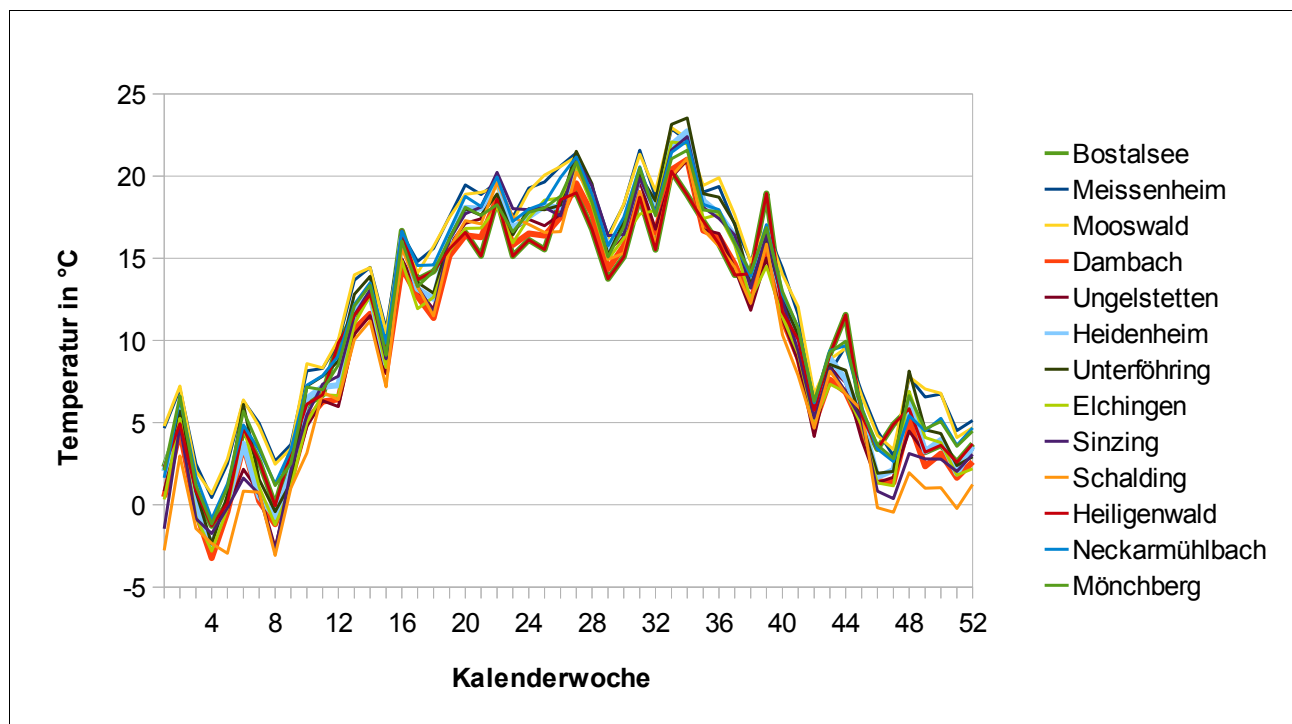


Abb. 19: Temperaturverlauf an den verschiedenen Sammelorten im Jahr 2011. Es liegen die wöchentlichen Durchschnittstemperaturen zugrunde.

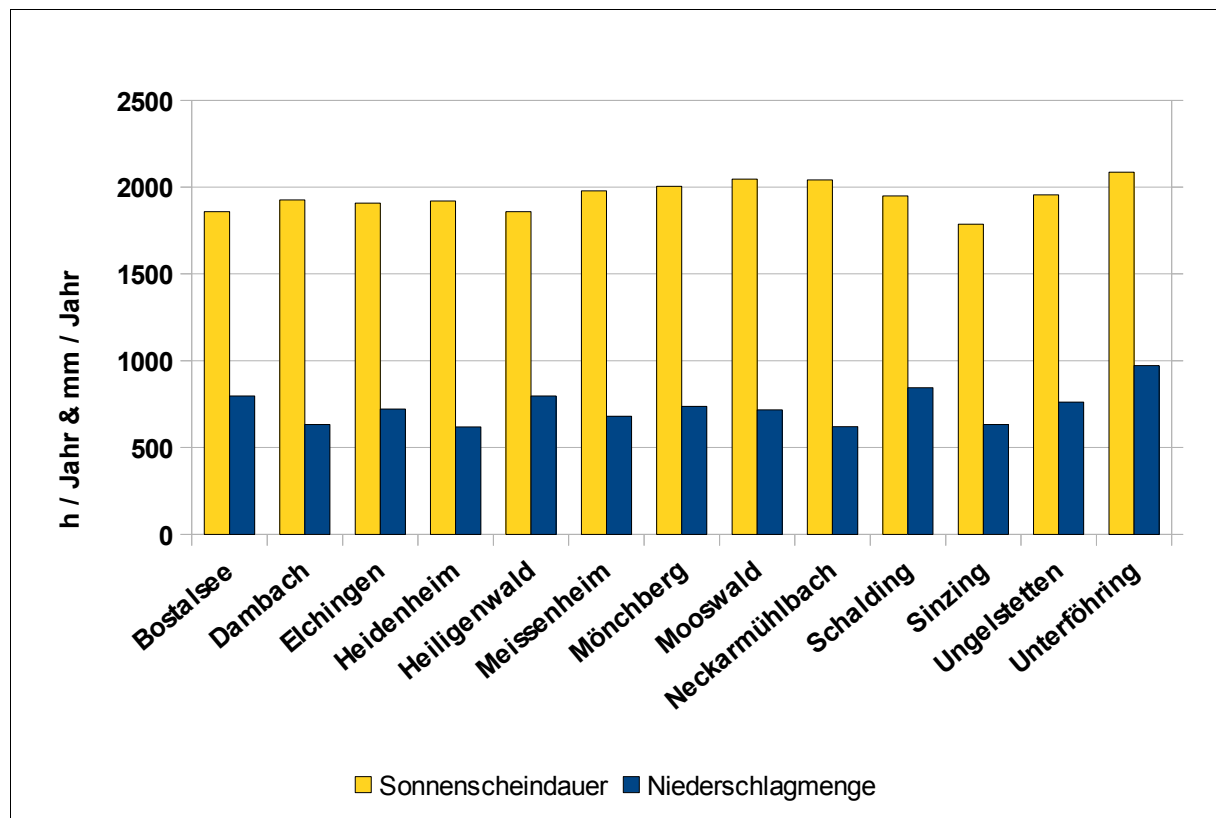


Abb. 20: Durchschnittliche Sonnenscheindauer und Niederschlagsmenge im Jahr 2011 an den verschiedenen Standorten.

Die Anzahl der gesammelten Zecken wurde mit den gemessenen Wetterdaten verglichen. Wie die Abbildungen 36-39 (vgl. Anhang) der Streudiagramme zeigen, ist die Lufttemperatur im Bodenbereich einer der wichtigsten Faktoren für alle Entwicklungsstadien. Sie zeigen auch eine positive Beziehung zwischen adulten Zecken und der Sonnenscheindauer, wohingegen Nymphen davon größtenteils unbeeinflusst blieben. Ein negativer Einfluss auf alle Entwicklungsstadien wurde bezüglich der Niederschlagsmenge beobachtet. Die relative Luftfeuchte hatte in dieser linearen Abhängigkeit wenig bis keinen Einfluss auf die Aktivität der Zecken.

In der Poisson-Regression zeigte sich hingegen, dass die Wirtssuchaktivität der Zecken signifikant von der durchschnittlichen Niederschlagsmenge der vergangenen 3 Tage vor Beginn der Sammlung ($p=0,027065$ für Nymphen), der durchschnittlichen

Sonnenscheindauer der vergangenen 3 Tage vor Beginn der Sammlung ($p=0,0434$ für adulte Zecken, $p=0,040954$ für Nymphen und $p=0,0212$ für Larven) als auch von der durchschnittlichen Luftfeuchtigkeit der vergangenen 3 Tage vor Beginn der Sammlung abhängig war (Tab. 5-7). Für die Interpretation der statistischen Daten wurden ebenfalls die erwarteten Poisson-Regressions-Koeffizienten (die sogenannten Parameterschätzer) und ihre exponentiellen Funktionen mitberücksichtigt. Wenn die zu betrachtende Variable um eine Einheit steigt, während alle anderen Variablen konstant gehalten werden, so steigt die Zielgröße (in diesem Fall die erwartete Anzahl an Zecken) multiplikativ um den exponentiellen Faktor des entsprechenden Regressions-Koeffizienten. Das bedeutet, wenn zum Beispiel die durchschnittliche Luftfeuchte der vergangenen 3 Tage (Luftfeuchte Mw3) um eine Einheit ansteigt, so steigt die Anzahl der erwarteten Nymphen um 0,7776680. Da dieser Wert kleiner als 1 ist, beträgt die Anzahl der erwarteten Nymphen also nur noch knapp 77 % des ursprünglichen Vergleichswertes.

Diese Werte dienen also dazu, die Anzahl der erwarteten Zecken in Relation zu allen signifikanten Wetter-Variablen aufzuzeigen.

Tabelle 5: Korrelation zwischen den ermittelten Klimawerten und der Anzahl der gesammelten adulten Zecken mittels Poisson-Regression.

| Variable | Adulte | | |
|-----------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | p | Est. | Exp. |
| Temperatur Boden | 0,8238 | -0,005039 | 0,9949737 |
| Temperatur Mw3 | 0,3267 | 0,039594 | 1,0403878 |
| Sonnenscheindauer Mw3 | 0,0434 * | -0,115375 | 0,8910318 |
| Luftfeuchte | 0,0958 . | -0,014068 | 0,9860308 |
| Luftfeuchte Mw3 | 0,9818 | 0,002988 | 1,0029923 |
| Niederschlag Mw3 | 0,8447 | 0,006671 | 1,0066935 |

Erläuterung siehe Tab. 7

Tabelle 6: Korrelation zwischen den ermittelten Klimawerten und der Anzahl der gesammelten Nymphen mittels Poisson-Regression.

| Variable | Nymphen | | |
|-----------------------|-------------------|-----------|-----------|
| | p | Est. | Exp. |
| Temperatur Boden | 0,6110 | 0,021243 | 1,0214703 |
| Temperatur Mw3 | 0,5268 | 0,025613 | 1,0259442 |
| Sonnenscheindauer Mw3 | 0,040954 * | 0,113254 | 1,1199163 |
| Luftfeuchte | 0,3940 | -0,007813 | 0,9922170 |
| Luftfeuchte Mw3 | 0,017236 * | -0,251456 | 0,7776680 |
| Niederschlag Mw3 | 0,027065 * | -0,120998 | 0,8860358 |

Erläuterung siehe Tab. 7

Tabelle 7: Korrelation zwischen den ermittelten Klimawerten und der Anzahl der gesammelten Larven mittels Poisson-Regression.

| Variable | Larven | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | p | Est. | Exp. |
| Temperatur Boden | < 2e-16 *** | 0,086476 | 1,0903252 |
| Temperatur Mw3 | < 2e-16 *** | -0,195034 | 0,8228068 |
| Sonnenscheindauer Mw3 | 0,0212 * | -0,029078 | 0,9713408 |
| Luftfeuchte | < 2e-16 *** | -0,050139 | 0,9510973 |
| Luftfeuchte Mw3 | 5,46e-08 *** | -0,245856 | 0,7820352 |
| Niederschlag Mw3 | < 2e-16 *** | 0,095533 | 1,1002448 |

p = Signifikanzwert (signifikante Werte sind fett gedruckt), **Est.** = Parameterschätzer, **Exp.** = Exponentialfunktion des Parameterschätzers, **Signifikanzcodes:** '****' = 0-0,001; '***' = 0,001-0,01; '**' = 0,01-0,05; '.' = 0,05-0,1; ' ' = 0,1-1; **Temperatur Boden:** Lufttemperatur in Bodennähe; **Temperatur Mw3:** durchschnittliche Lufttemperatur 3 Tage vor Beginn der Sammlung; **Sonnenscheindauer Mw3:** durchschnittliche Sonnenscheindauer 3 Tage vor Beginn der Sammlung; **Luftfeuchte:** relative Luftfeuchte in Bodennähe; **Luftfeuchte Mw3:** durchschnittliche relative Luftfeuchte 3 Tage vor Beginn der Sammlung; **Niederschlag Mw3:** durchschnittliche Niederschlagsmenge 3 Tage vor Beginn der Sammlung.

Die Ergebnisse der Poisson-Regression für die Larven müssen vorsichtig interpretiert werden, da es in den Datensätzen einige extreme Ausreißer wie auch etliche Nullwerte gibt. Es konnte daher auch nicht wie für die anderen Entwicklungsstadien eine grafische Darstellung der Regression erstellt werden.

Aufgrund der Komplexität des generalisierten Regressionsmodelles und der vielen Variablen, die eine Rolle spielen, gibt es teilweise große Abweichungen vom linearen Trend. Diese Abweichungen zeigen die Abbildungen 21 & 22 für Nymphen und Adulte. Je weiter sich in diesen Darstellungen die gestrichelten Kurven voneinander entfernen, um so weniger gleicht das Ergebnis einem linearen Verlauf und umso unsicherer wird die Schätzung der zu erwartenden Zeckenzahl, da in der Regel auch weniger Datensätze vorliegen. Der Niederschlag zeigt sowohl für die Adulten (Abb. 22 f) als auch für die Nymphen (Abb. 21 f) einen negativen Zusammenhang und führt bei steigenden Werten zu sinkenden Zeckenzahlen. Für die Luftfeuchte ergibt sich ein ähnliches Ergebnis (vgl. Abb. 21 d, e & 22 d, e). Auf die Zeit bezogen stellt sich für Nymphen wie für Adulte ein umgekehrt u-förmiger Zusammenhang dar, bei dem die erwartete Zeckenzahl in der ersten Hälfte des Jahres ansteigt, um danach wieder abzusinken. Bei den Nymphen ist darüber hinaus ein zweites kleineres Aktivitätsmaximum im August zu sehen, während die erwartete Zahl der Adulten ab Mai kontinuierlich abfällt (Abb. 21 g & 22 g).

Ergebnisse

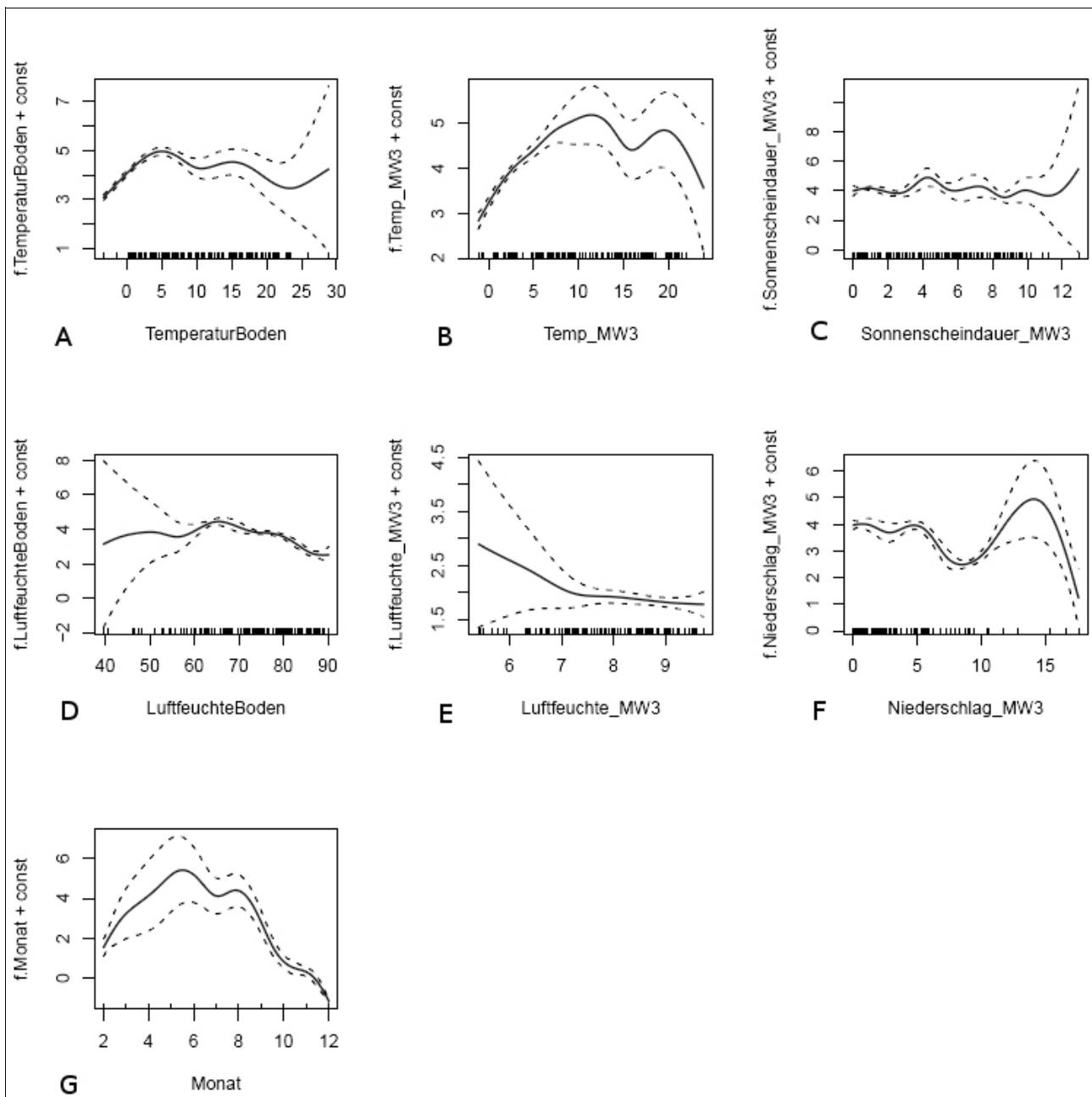


Abb. 21: Grafische Darstellung der Poisson-Regression, welche den Erwartungswert für die Anzahl der Nymphen darstellt.

x-Achse: zu betrachtende Variable (**a** = Temperatur in Bodennähe, **b** = durchschnittl. Temperatur 3 Tage vor Beginn der Sammlung, **c** = durchschnittl. Sonnenscheindauer 3 Tage vor Beginn der Sammlung, **d** = Luftfeuchte in Bodennähe, **e** = durchschnittl. Luftfeuchte 3 Tage vor Beginn der Sammlung, **f** = durchschnittl. Niederschlag 3 Tage vor Beginn der Sammlung, **g** = Monat) und als schwarze Balken Anzahl der ausgewerteten Datensätze, **y-Achse:** Funktion der Klima-Variablen als Abweichung von der Konstanten.

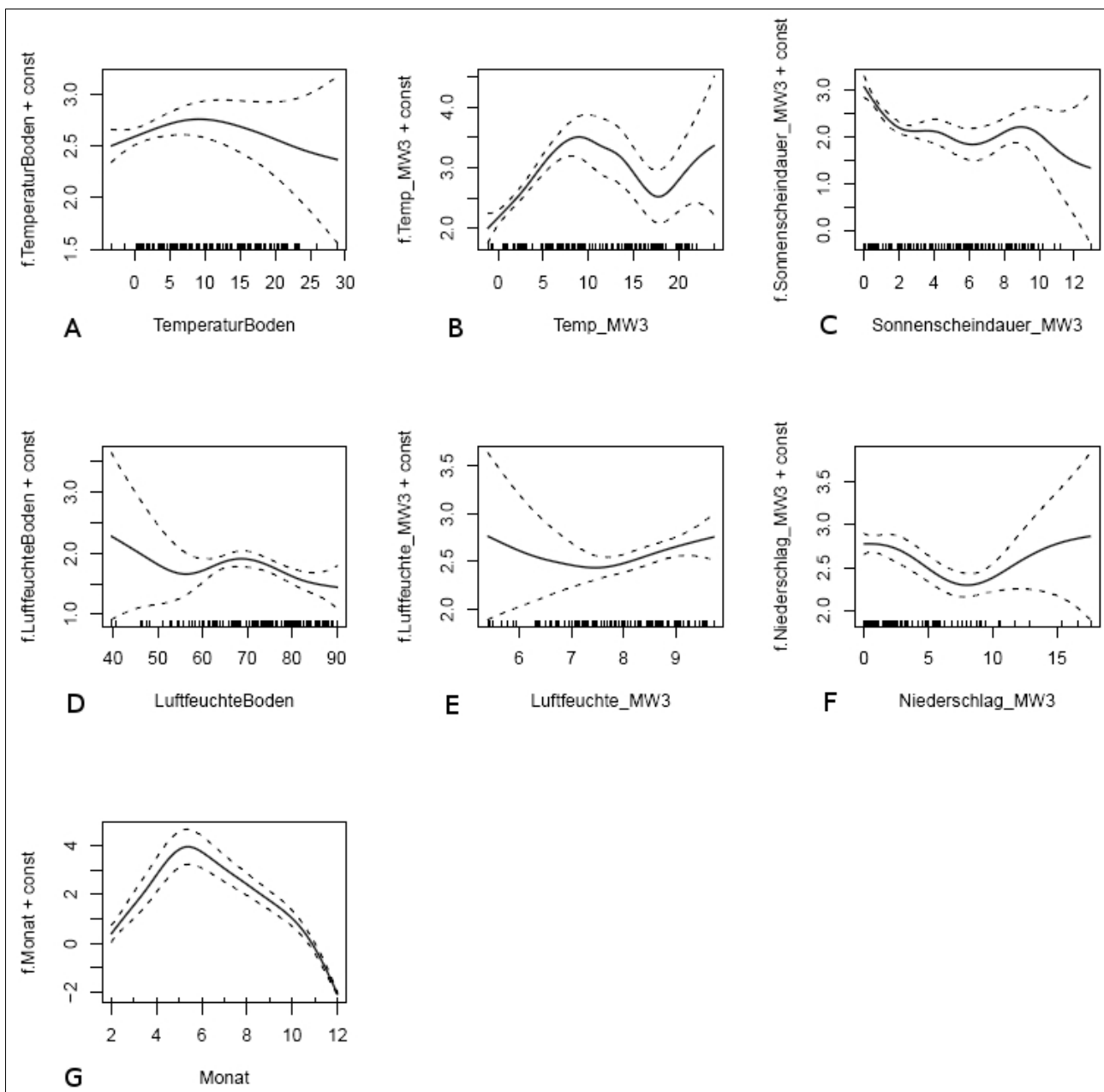


Abb. 22: Grafische Darstellung der Poisson-Regression, welche den Erwartungswert für die Anzahl der adulten Zecken darstellt.

x-Achse: zu betrachtende Variable (**a** = Temperatur in Bodennähe, **b** = durchschnittl. Temperatur 3 Tage vor Beginn der Sammlung, **c** = durchschnittl. Sonnenscheindauer 3 Tage vor Beginn der Sammlung, **d** = Luftfeuchte in Bodennähe, **e** = durchschnittl. Luftfeuchte 3 Tage vor Beginn der Sammlung, **f** = durchschnittl. Niederschlag 3 Tage vor Beginn der Sammlung, **g** = Monat) und als schwarze Balken Anzahl der ausgewerteten Datensätze, **y-Achse:** Funktion der Klima-Variablen als Abweichung von der Konstanten.

5. Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse zur Anzahl und zur saisonalen Aktivität der Zecken

In der vorliegenden Arbeit wurde die Flaggen-Methode verwendet, um Zecken unter definierten Bedingungen von der Vegetation abzusammeln und diese anschließend hinsichtlich ihrer Anzahl, ihrer Art, ihres Geschlechts und ihres Entwicklungsstadiums untersucht. Die Standardisierung war notwendig, um repräsentative Proben zu erhalten, die sich sowohl zwischen den verschiedenen Sammelorten als auch zwischen den verschiedenen Sammelterminen an einem Sammelort vergleichen lassen.

Der überwiegende Teil der gefundenen Zecken gehörte zu der Art *I. ricinus*, welche mit knapp 90% der gesamten Zeckenpopulation die häufigste und auch bedeutendste Zeckenart in Mitteleuropa darstellt (Eckert *et al.* 2005, Hillyard 1996, Liebisch & Liebisch 1999). Ein geringer Teil der heimischen Zeckenfauna wird von Zecken der Gattung *Ixodes* sowie von Zecken der Gattungen *Dermacentor* und *Haemaphysalis* gebildet. Da weniger als 0,1 % der im Rahmen dieser Arbeit gefundenen Zecken der Art *D. reticulatus* angehörten, wurden diese aus der statistischen Analyse ausgeschlossen. Obwohl sich *D. reticulatus* im südlichen Teil Deutschlands auf dem Vormarsch befindet (Heile *et al.* 2006), konnte diese Art nur an 2 Standorten in der Oberrheinischen Tiefebene gefunden werden, nämlich am Standort Mooswald in der Nähe von Freiburg und am Standort Meissenheim in der Nähe von Offenburg. Diese Beobachtung stimmt mit Berichten überein, nach welchen sich das Verbreitungsgebiet von *D. reticulatus* insbesondere auf lokal begrenzte Naturherde im Oberrheingraben (sowohl auf deutscher als auch auf französischer Seite) dem Saarland und Rheinland-Pfalz beschränkt (Beelitz *et al.* 2008, Heile *et al.* 2006, Immler *et al.* 1970, Immler 1973, Liebisch *et al.* 1985). Es haben sich allerdings ebenfalls weitere Populationsherde in Bayern angesiedelt, hier unter anderem an den Isar-Auen

rund um München und Regensburg (Zahler *et al.* 2000). Vor allem in den letzten Jahren konnte aber auch eine zunehmende Ausbreitung in nördlichere Regionen Deutschlands beobachtet werden (Dautel *et al.* 2006). Nennenswert sind hier vor allem autochthone Vorkommen von *D. reticulatus* in Tübingen, Berlin und Brandenburg (Dautel & Kahl 2009, Heile *et al.* 2006, Liebisch & Rahman 1976, Menn 2006). Dass in der vorliegenden Untersuchung keine Zecken dieser Art im Saarland und in Bayern gefunden werden konnten ist zum einen auf die doch recht fokale Verteilung dieser Zecken zurückzuführen, zum anderen aber auch auf die Vegetation, die bevorzugt besiedelt wird. Die Auwaldzecke siedelt sich vor allem in sonnenexponierten, mit hohen Gräsern bewachsenen Flächen und in Flussauen an (Dautel & Kahl 2009, Zahler *et al.* 2000). Da dieses Vegetations-Schema bis auf zwei Ausnahmen an keinem der gewählten Standorte vorlag, war ein Vorkommen von *D. reticulatus* nicht zwingend zu erwarten. Dieses Ergebnis zeigt aber auch, dass die Auwaldzecke in Süddeutschland noch nicht flächendeckend anzutreffen ist.

Das Ausbleiben anderer Zeckenarten bei den erfolgten Sammlungen kann unter anderem auch der verwendeten Sammelmethode geschuldet sein. So ist die von Gray (1985) beschriebene Flaggen-Methode zwar eine effektive, schnelle und kostengünstige Variante, um große Mengen von Zecken zu sammeln und ihr Aktivitätsmuster zu bestimmen (Gilbert 2010, Ginsberg & Ewing 1989), jedoch hat diese Methode auch einige Nachteile. Mit Hilfe der Flaggen-Methode werden zum einen nur Zecken angesprochen, die sich wie *I. ricinus* in den oberen Bereichen der Vegetation auf aktiver Wirtssuche befinden. Diese so gefangenen Zecken stellen jedoch nur einen Bruchteil der Zecken dar, welche sich zu diesem Zeitpunkt auf Wirtssuche befinden. Die Gesamtheit aller sich auf Wirtssuche befindlichen Zecken wiederum macht nur einen kleinen Teil der tatsächlichen Zeckenpopulation aus. Dies liegt im Verhalten der Zecken begründet, die sich regelmäßig in die unteren Vegetationsschichten zurückziehen, um ihren Wasserhaushalt zu regulieren (Kahl 1989, Needham & Teel 1991, Perret *et al.* 2000, Schulze *et al.* 2001).

Des Weiteren können sich unterschiedliche Zeckenarten unterschiedlich lang an den verwendeten Sammelflaggen halten. In einem direkten Vergleich zwischen *I. persulcatus* und *I. ricinus* sowohl bei höheren als auch bei niedrigeren Temperaturen konnte gezeigt werden, dass sich *I. ricinus* weniger aktiv an die verwendeten Baumwollflaggen klammerte und sich auch wieder früher löste (Uspensky 1993). Vor allem bei hohem, dichtem Bodenbewuchs steigt deshalb die Gefahr, dass Zecken von der Sammelflagge abgestreift werden oder wieder von ihr ablassen. Aus diesem Grund wurden bei den hier durchgeführten Sammlungen relativ kurze Zug-Intervalle gewählt, um eine diesbezügliche Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden.

Auch subadulte Stadien wie Larven können dem Untersuchenden vor allem an Standorten mit dichtem, hohem Bodenbewuchs leicht entgehen (Ginsberg & Ewing 1989, Randolph *et al.* 2000), da sich diese eher in den unteren Vegetationsschichten aufhalten, die mehr Schatten und Feuchtigkeit zur Verfügung stellen, wie auch von Oorebeek *et al.* (2009) experimentell anhand von Larven von *I. hirsti* gezeigt werden konnte. Diese Tatsache bezüglich der Larven bestätigte sich durchgehend, wie zum Beispiel an den Standorten Bostalsee, Elchingen und Unterföhring. Daniel (1993) wies jedoch darauf hin, dass Zecken in einem Gebiet aufgrund von Schwankungen im Wirtstiervorkommen oder Nutzung durch den Menschen oft einer unregelmäßigen, mosaikartigen Verteilung unterliegen. Dies hat zur Folge, dass sich stark unterschiedlich besiedelte Standorte unmittelbar nebeneinander finden können und demzufolge Flächen mit einer hohen Zeckendichte schlicht und einfach verpasst werden können. Diese Beobachtungen konnten in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden, vor allem am Standort Heiligenwald fanden sich punktuell Stellen mit großen Ansammlungen subadulter Zecken. Andere Zeckenarten, die sich wie zum Beispiel *I. hexagonus* bevorzugt an den Rastplätzen und in den Bauten ihrer Beutetiere aufhalten, werden mit Hilfe dieser Methode nicht erfasst. Frühere Studien, die ebenfalls die Flaggen-Methode verwendeten, weisen vergleichbare Verteilungen auf (Jensen 2000, Leonhard 2005, Maetzel *et al.* 2005, Silaghi *et al.* 2008, van Es *et al.* 1999).

Es wurden in der Vergangenheit aber auch zahlreiche andere Methoden beschrieben, mit deren Hilfe Zecken aus der Umgebung gesammelt werden können, und von denen jede auf unterschiedliche Zeckenarten als auch unterschiedliche Entwicklungsstadien abzielt. Zu nennen wären hierbei z.B. die Verwendung von Kohlendioxid-Fallen und das Absammeln von Wirtstieren oder Menschen (Ginsberg & Ewing 1989). Eine Verbesserung der etablierten Flaggen-Methode wäre eine Modifikation, wie sie von Gherman *et al.* (2012) beschrieben wurde, welche eine mit CO₂ getränkte Flagge verwendeten und damit eine deutlich größere Anzahl an *I. ricinus* im Vergleich zu herkömmlichen Flaggen erfassen konnten. Im Gegensatz zur herkömmlichen Flaggen-Methode wird zusätzlich zur Bewegung ein weiterer Reiz in Form von Kohlendioxid für die Zecke bereitgestellt. Da diese Variante aber noch nicht oft erprobt ist und andere Zeckenarten wie z.B. *D. marginatus* davon scheinbar nicht sonderlich angesprochen werden, wurde im Rahmen dieser Arbeit auf die bewährte Methode nach MacLeod (1935a) zurückgegriffen.

Zwischen den einzelnen Standorten gab es große Unterschiede im Gesamtvorkommen der Zecken als auch in der prozentualen Verteilung der verschiedenen Entwicklungsstadien. Standorte mit einem niedrigeren Zeckenvorkommen wiesen insofern größere Unterschiede in Bezug auf die dort vorherrschende Vegetation auf, als es dort nur eine geringe bis gar nicht vorhandene Laubstreuschicht und einen geringen oder sehr monotonen Bodenbewuchs gab. Dies war häufiger in Nadelwäldern als in Laubwäldern der Fall und legt die Vermutung nahe, dass die Vegetation im Habitat der Zecken eine entscheidende Rolle bei der Aufrechterhaltung eines geeigneten klimatischen Umfeldes spielt. Diese Ansicht deckt sich mit den Beobachtungen früherer Studien (Daniel 1993). Die Untersuchungsorte Unterföhring und Ungelstetten zeigten einen solchen monotonen, lichten Bodenbewuchs, der die Feuchtigkeit schlecht halten kann und eine dementsprechend sehr niedrige Zeckendichte aufwies. Zecken benötigen eine relative Luftfeuchte von mindestens 80 % bis 85 % (Kahl & Knülle 1988, MacLeod 1936, Needham & Teel 1991), um die Zeit abseits eines Wirtes für längere Zeit zu überleben.

Eine dichte, schwer verrottende Laubstreuschicht am Boden bietet Zecken (allen voran den subadulten Stadien) Schutz, da diese sehr anfällig gegenüber Austrocknung sind (Estrada-Peña 2001, Lees 1946, Lees & Milne 1951, Randolph & Storey 1999). Anhand der vorliegenden Regressionsanalyse konnte festgestellt werden, dass Nymphen signifikant von der Luftfeuchte abhängig waren und bis zu einem gewissen Punkt eine positive Korrelation aller Entwicklungsstadien bestand, d.h. dass bei fallender Luftfeuchte eine Abnahme der Zeckenzahlen erfolgte und umgekehrt (vgl. Abb. 21 e). Perret *et al.* (2000) zeigten einen Zusammenhang zwischen dem Sättigungsdefizit der Luft und der Dichte von Zecken der besagt, dass die Wirtssuchaktivität der Zecken mit zunehmendem Sättigungsdefizit abnimmt. Diese Tatsache ist dem Umstand geschuldet, dass obwohl Zecken auf hohe Luftfeuchtwerte in ihrem Habitat angewiesen sind ab einem gewissen Luftfeuchtwert andere Parameter wie zum Beispiel die Lufttemperatur eine zunehmend größere Rolle für das Aktivitätsmuster der Zecken spielen. Diese Beobachtung wurde bereits in früheren Studien gemacht (Hubálek *et al.* 2003) und deckt sich mit den hier gesammelten Daten. Obwohl die Luftfeuchtigkeit einen großen Einfluss auf die Aktivität der Zecken hat, ist ihr Einfluss nicht immer geradlinig mit der Zeckenaktivität verbunden und variiert je nach Region und Habitat wie auch nach dem Entwicklungsstadium der Zecken (Gray *et al.* 1978, Daniels *et al.* 1989, Mejlou & Jaenson 1997).

In den vorliegenden Ergebnissen waren wirtssuchende Zecken vereinzelt noch bei Lufttemperaturen bis zu 1,1 °C aktiv. Zeckenaktivität bei ähnlich niedrigen Temperaturen zwischen -0,6 °C und 5 °C konnte bereits in früheren Studien beobachtet werden (Schulze *et al.* 2001, Sixl & Nosek 1971). Einige Autoren beschreiben eine Temperaturschwelle, die erst bei 4-5 °C beginnt (Clark 1995, Lindgren *et al.* 2000). Da trotzdem Zecken unterhalb dieser Schwelle gefunden werden konnten, ist davon auszugehen, dass zwischen den verschiedenen Bereichen eines einzelnen Standortes Temperatur-Unterschiede herrschen, je nachdem ob z.B. schattige oder sonnige Flächen beprobt wurden. Die

Temperatur spielt eine entscheidende Rolle bei der Aktivität und der geografischen Verbreitung von *I. ricinus*. Auch wenn ihre Aktivität normalerweise erst bei Bodentemperaturen von 5-7 °C einsetzt (Aeschlimann 1972), so sind Zecken doch recht widerstandsfähig gegen Kälte. Es wurde bereits beobachtet, dass eine Temperaturspanne von -14,4 °C bis -18,9 °C über einen Zeitraum von 24 h überlebt wurde (Knülle & Dautel 1997). Treten solche Minustemperaturen allerdings über längere Zeiträume auf, so sind diese für den größten Teil der Zecken tödlich. Im Gegensatz dazu sind milde Winter, wie sie in den letzten Jahrzehnten vermehrt in Deutschland und Mitteleuropa auftraten, von Vorteil für die Zeckenpopulation. Es wird bereits seit längerem diskutiert, ob die anhaltende globale Erwärmung in Zukunft dazu führt, dass sich der Zeitraum, in dem keine Zeckenaktivität stattfindet, noch weiter verkürzt (Gray *et al.* 2009). Bisher wird der Aktivitätszeitraum für große Teile Mitteleuropas von März bis Oktober angegeben. Jedoch wurden bereits in mehreren Versuchen Zecken auch außerhalb dieses Zeitfensters gefunden, im Winter des Jahres 2006 im Raum Berlin sogar durchgängig von November bis Februar (Dautel *et al.* 2008). Dies stimmt mit den Funden von Zecken im frühen Februar im Rahmen dieser Arbeit überein.

Die durchgeführte Poisson-Regressionsanalyse der Anzahl der gesammelten Zecken mit den selbst gemessenen und vom DWD zur Verfügung gestellten Klimadaten zeigt eine positive Beziehung zwischen der Zeckenaktivität aller Entwicklungsstadien und den durchschnittlichen Lufttemperaturen der vorherigen 3 Tage vor Beginn der Sammlung. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (Hubálek *et al.* 2003, Perret *et al.* 2000). Die Ergebnisse für die Klimadaten der Wetterstationen müssen jedoch vorsichtig interpretiert werden, da sich einige der Stationen nicht in unmittelbarer Nähe der jeweiligen Sammelorte befanden (vergl. Tab. 2). Das so ermittelte Mesoklima hat unter Umständen nur einen geringen Einfluss auf die tatsächliche Aktivität der Zecken, welche hauptsächlich vom Mikroklima in ihrer unmittelbaren Umgebung abhängig sind, genauer genommen von Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur. Dieses Mikroklima wird zu großen Teilen von der jeweiligen Vegetation am Sammelort bestimmt, und sollte idealerweise über einen längeren Zeitraum direkt am Sammelort gemessen

werden, um genauere Aussagen über das Aktivitätsmuster von Zecken machen zu können.

Neben der Temperatur haben die jährliche Sonnenscheindauer und die jährliche Niederschlagsmenge in einem Gebiet ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf Adulte, Nymphen und Larven. Während die Sonnenscheindauer an allen betrachteten Standorten um einen Mittelwert von 1947,9 h schwankte und keine deutlichen Unterschiede aufwies, sah es beim Niederschlag schon anders aus. Hier stach der Standort Unterföhring mit einer durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von 972,3 mm hervor, einem Wert, der 250 mm über dem Durchschnitt der restlichen Standorte lag. In der Poisson-Regressionsanalyse konnte ein negativer Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Niederschlagsmenge der vergangenen 3 Tage vor Beginn der Sammlung und der Aktivität von Nymphen nachgewiesen werden (vgl. Tab. 6). Im Gegensatz dazu konnte eine ähnliche Untersuchung keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Zeckenaktivität und Niederschlagsmenge feststellen (Hubálek *et al.* 2003).

Zusätzlich zu der weiter oben erwähnten jahreszeitlichen Verteilung muss auch die räumliche Verteilung der Zecken angesprochen werden. Viele Autoren diskutieren, inwiefern das Klima eine tragende Rolle bei der Ausbreitung von Zecken wie auch von zeckenübertragenen Krankheiten spielt (Jaenson *et al.* 2012, Randolph 2004, Randolph 2010, Šumilo *et al.* 2007, Zeman & Beneš 2004). Es kann hierbei zum einen eine geografische Ausbreitung der Zecken entlang eines Nord-Süd-Gradienten betrachtet werden oder aber eine Verbreitung über verschiedene Höhenlagen am selben Ort (Gilbert 2010). In Tschechien wurde eine Ausbreitung der Population von *I. ricinus* von ehemals 700 m.ü.NN. auf Höhen von bis zu 1100 m.ü.NN. beobachtet (Daniel *et al.* 2003, 2004). Studien in Schweden zeigten eine Ausbreitung von *I. ricinus* in nördlichere Gebiete im Laufe der letzten 30 Jahre (Jaenson *et al.* 2012). Als überwiegende Ursache hierfür werden ebenfalls weniger Tage mit extremem Frost im Winter und mildere Temperaturen im Frühjahr und Herbst gesehen, was zu einer Verlängerung der Zeit führt, in der sich die

Zecken entwickeln können (Lindgren *et al.* 2000). Auch die bereits erwähnte Ausbreitung von *D. reticulatus* wird unter anderem auf klimatische Veränderungen zurückgeführt. Zwischen den einzelnen Standorten, die untersucht wurden, konnten allerdings keine übermäßig großen Unterschiede in Bezug auf das Klima festgestellt werden. Die erzielten Ergebnisse könnten somit vielmehr eine Hilfe beim Vergleich des Vorkommens von Zecken und ihrer Dynamik in anderen Ländern inner- und außerhalb Europas darstellen, die sich in ihrem Makroklima deutlich voneinander und vom deutschen Klima unterscheiden.

Während in der Literatur die Aktivitätsdynamik von Zecken in Mitteleuropa überwiegend als bimodal beschrieben wird (Aeschlimann 1972, Belozarov 1982, Gray 1985, 1991, 2002, MacLeod 1936, Nilsson 1988, Sonenshine 1993), können die Aktivitätsmaxima von Jahr zu Jahr variieren. Mejlom (2000) zeigte, dass eine abnehmende Aktivität im Spätsommer in einem bimodalen Aktivitätsmuster für adulte Zecken mit einem Maximum im Frühjahr und einem zweiten Maximum im Herbst des folgenden Jahres resultiert. In der vorliegenden Untersuchung zeigten nur 6 von 13 Standorten ein bimodales Aktivitätsmuster mit einem zweiten kleineren Aktivitätsmaximum der Larven und Nymphen im Herbst, wohingegen die Adulten kein ersichtliches zweites Maximum aufwiesen. Die höchste durchschnittliche Wirtssuchaktivität für subadulte Stadien konnte im späten Frühjahr (April, Mai und Juni) sowie im frühen Herbst (August) beobachtet werden. Die anderen 7 Standorte zeigten, wie bereits andere Studien zuvor (Kurtenbach 1995, MacLeod 1936, Sonenshine 1993), alle ein unimodales Aktivitätsmuster für sämtliche Entwicklungsstadien, welches durch ein einzelnes Aktivitätsmaximum im April oder Mai gekennzeichnet ist. Dies traf insbesondere für die adulten Zecken zu, die durchweg ein unimodales Muster zeigten. Solch eine unimodale Aktivität wurde in der Vergangenheit bereits des Öfteren beschrieben, allerdings überwiegend im Zusammenhang mit südlich gelegenen Ländern im europäischen Mittelmeerraum wie zum Beispiel Spanien (Moreno & Estrada-Peña 1997). In jüngster Zeit zeigt sich allerdings eine Veränderung dieser

geografischen Grenze. Mehrere Studien, unter anderem aus dem Süden Deutschlands und der West-Schweiz, zeigen ebenfalls Abweichungen von der ehemals typischen bimodalen Verteilung der Zeckenaktivität (Kupča 2009, Pérez *et al.* 2012). Es wird vermutet, dass Veränderungen der klimatischen Bedingungen, genauer gesagt zunehmend mildere Temperaturen sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten sowie steigende Luftfeuchtheitswerte, die Lebensbedingungen für *I. ricinus* begünstigen. So verlängert sich unter anderem der Zeitraum, in dem die Zecken sich auf Wirtssuche begeben und fortpflanzen können. Genau diese klimatischen Rahmenbedingungen waren Teil einer früheren Studie aus Nordspanien (Moreno & Estrada-Peña 1997). Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass in höheren Lagen mit moderaten Sommern und einer erhöhten Niederschlagsmenge mit unimodalen Aktivitätsverläufen zu rechnen ist. Die selbe Beobachtung wurde in der vorliegenden Untersuchung gemacht. Im Gegensatz dazu weisen alle 6 Standorte mit bimodalem Aktivitätsmuster im Verhältnis zu den anderen Orten niedrigere Niederschläge auf. Geschützte Standorte mit dichterem Bewuchs und mehr Schattenbereichen, an denen auch während der Sommermonate das Klima nicht ganz so extreme Temperaturen annimmt, verhindern auf der anderen Seite, dass die Zeckendichte so stark abnimmt wie an sonnenexponierten Orten in offenem Gelände (Jensen & Kaufmann 2003). Dies hat zur Folge, dass keine deutliche Trennung zwischen einem Frühjahrs- und Herbstmaximum mehr sichtbar ist und ein bimodaler Verlauf an diesen Standorten somit nicht deutlich werden kann. Es ist zu erwarten, dass zukünftige Studien in Mitteleuropa ähnliche Ergebnisse liefern werden, die die Verschiebung in Richtung einer unimodalen Aktivitätsdynamik untermauern.

Da die Probenentnahme während dieser Untersuchung unabhängig vom Wetter stattfand (also auch bei strömendem Regen oder Schnee) waren die klimatischen Bedingungen an den jeweiligen Sammelorten nicht immer optimal für wirtssuchende Zecken. Diese Tatsache könnte die Statistik einiger Standorte teilweise verzerrt haben und es ist anzunehmen, dass sie unter günstigeren Wetterbedingungen anders ausgefallen wäre. Dies könnte ein weiterer Grund für die unterschiedlichen Aktivitätshöhepunkte sein,

welche an den verschiedenen Sammelorten beobachtet wurden.

Allerdings ist nicht das Klima alleine ursächlich für die auftretenden Verschiebungen in den Aktivitätsdynamiken der Zecken verantwortlich zu machen. Auch eine sich ändernde anthropogene Nutzung der Lebensräume von Zecken wie z.B. durch die Landwirtschaft ist ein Faktor, dessen Einfluss sich stark bemerkbar macht. Sie geht einher mit einer Verschiebung des Lebensraumes von geeigneten Wirtstieren, welche wiederum die einzige Möglichkeit der Verbreitung für Zecken darstellen. Estrada-Peña (2004, 2008) zeigte auf, dass zusammenhängende Habitats unabdingbar für die Verbreitung von Wirtstieren und somit von Zecken sind und regelmäßig mit einer hohen Anzahl wirtssuchender Zecken korrelieren. Eine nicht vorhandene oder niedrige Zeckenpopulation bei geeigneten Umwelt- und Klimabedingungen ließe sich durch diese Tatsache erklären. Der selbe Effekt war im Rahmen dieser Untersuchung an den Standorten Mooswald und Bostalsee zu beobachten, welche zwar augenscheinlich gute Bedingungen für das Vorkommen von Zecken boten, allerdings durch eine starke Frequentierung durch Menschen und Abgrenzung durch viel befahrene Straßen auffielen. Dies könnte eine Ursache dafür sein, dass an diesen Standorten weniger Zecken gefunden wurden, als es die Vegetation hätte vermuten lassen.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der das Vorkommen und die Saisonalität von Zecken beeinflusst, ist das Vorkommen von geeigneten Wirtstieren (Gray 1991). Einer der wichtigsten Wirte für *I. ricinus* in Mitteleuropa ist das Rehwild (Gilbert 2010). Rehwildpopulationen gehen normalerweise mit großen Populationen von *I. ricinus* einher, da die adulten Zecken – nachdem sie ihre Blutmahlzeit auf dem Wirt beendet haben – enorme Mengen an Eiern und somit Larven produzieren, welche wiederum eine neue Zeckengeneration beginnen (Gray *et al.* 1998). Obwohl Rehe alle Entwicklungsstadien von Zecken beherbergen können, bevorzugen subadulte Stadien kleinere Säugetiere wie zum Beispiel Kleinnager. Die in dieser Untersuchung vorliegenden Daten zum

Wildtiervorkommen in Kapitel 3.1.2 beruhen auf Angaben der zuständigen Forst- und Jagdbehörden zu den Abschusszahlen (soweit vorhanden) sowie Schätzungen der Jagdpächter, da eine zahlenmäßige Erfassung der tatsächlichen Wildtierbestände aufgrund von fehlenden geeigneten Erhebungsmethoden nicht verfügbar war. Um die ungefähren Individuenzahlen einer Tierart wie zum Beispiel Rehwild festzustellen, können Verbiss-Gutachten herangezogen werden, die aber nicht in jedem Gebiet möglich und nicht für jedes Bundesland vorhanden sind. Ein weiterer Ansatz ist die Hochrechnung anhand von vorliegenden Abschusszahlen, wobei verlässliche Aussagen so nicht möglich sind. Allerdings lassen diese Zahlen in der Tendenz einen Rückschluss auf die Population zu, es wird hierbei von einem Bestand ausgegangen, der ca. 3-5 Mal so groß ist (Seidel, persönliche Mitteilung).

Obwohl eine genaue quantitative Erfassung von Tierarten nicht stattfand und dies eine statistische Aussage schwer macht, lässt sich in Hinblick auf die beprobten Standorte Folgendes sicher sagen: In allen Gebieten, in denen eine große Vielfalt an großen und kleinen Säugetieren in Kombination mit einer weniger häufig durch Menschen frequentierten Umgebung vorherrschte, wurden überdurchschnittlich viele Zecken gefunden. Gebiete, die ein geringeres Wirtstiovorkommen aufwiesen, zeigten im Umkehrschluss auch eine deutlich niedrigere Anzahl an Zecken. Dies deckt sich mit der Beobachtung einer Studie aus Belgien, die besagt, dass eine durch Jagd verminderte Rehwildpopulation sich auch negativ auf die lokale Zeckenpopulation auswirkt (Li *et al.* 2012).

Zusammenfassend betrachtet kann die Populationsdynamik der Zecken allerdings nicht von einem einzigen Faktor abhängig gemacht werden. Die Aktivitätsdichte von Zecken hängt von vielen verschiedenen, sehr komplexen Faktoren wie Klima, Vegetation, Habitat und Wirtstiovorkommen ab, die sich sowohl gegenseitig und auch die Dynamik der Zecken beeinflussen. Auch lassen Standorte mit durchgängig niedrigen Zeckenzahlen, wie es z.B. an dem Standort Unterföhring im Münchener Stadtgebiet der Fall war, keine

zuverlässigen statistischen Aussagen zu. Vergleichbare Aussagen zu den verschiedenen Standorten sind somit nicht immer leicht zu treffen, vor allem da es sich bei den vorliegenden Ergebnissen nur um kurze Momentaufnahmen der jeweiligen Bedingungen handelt. Es wäre in Hinblick auf diese Arbeit auf jeden Fall wünschenswert, weiterführende Studien durchzuführen, die neben einer Untersuchung der gesammelten Zecken auf Krankheitserreger auch längerfristige oder regelmäßige Beobachtungen der beprobten Standorte umfassen.

6. Zusammenfassung

Untersuchungen zur saisonalen Populationsdynamik von *Ixodes ricinus* (Ixodidae) in Süddeutschland

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, die saisonale Aktivität der Schildzecke *I. ricinus* L. an ausgewählten Standorten in Süddeutschland zu untersuchen und daraus Rückschlüsse auf die Populationsdynamik zu ziehen. Hierzu wurden von Februar 2011 bis Dezember 2011 in monatlichen Abständen an 13 Standorten in drei Bundesländern Zecken gesammelt. Insgesamt wurden 14.394 Zecken (7862 Larven, 5568 Nymphen, 455 weibliche Zecken und 509 männliche Zecken) gesammelt, von denen 14.383 Zecken der Art *I. ricinus* angehörten, während 11 Zecken der Art *D. reticulatus* zuzuordnen waren. Zusätzlich wurden an jedem Standort diverse Klimadaten gemessen. Die so erhobenen Daten wurden mittels Poisson-Regression statistisch untersucht.

Zecken konnten in den Monaten Februar bis November gesammelt werden und waren bis zu einer Temperatur von 1,1 °C aktiv. An 7 der 13 Standorte zeigte sich ein unimodaler Aktivitätsverlauf mit lediglich einem Aktivitätsmaximum in den Monaten April und Mai. An den restlichen 6 Standorten konnte ein bimodaler Verlauf mit einem zweiten kleineren Aktivitätsmaximum im Herbst beobachtet werden. Die Ergebnisse stützen somit die Hypothese, dass sich der Aktivitätszeitraum von *I. ricinus* in Mitteleuropa aufgrund von günstiger werdenden klimatischen Bedingungen verlängert.

In der Poisson-Regression zeigte sich eine signifikante positive Abhängigkeit der verschiedenen Entwicklungsstadien von Sonnenscheindauer und Luftfeuchtigkeit. Ebenfalls einen signifikanten Einfluss zeigte die Niederschlagsmenge, wobei dieser Wert einen negativen Zusammenhang mit der Zeckendichte aufwies.

Insgesamt wiesen die Standorte aber einen relativ einheitlichen Klimaverlauf auf, welcher die teilweise großen Unterschiede bezüglich der Gesamtzeckenzahl und der Verteilung der Entwicklungsstadien zwischen den einzelnen Standorten nicht in voller Zufriedenheit erklären kann. Es müssen deswegen auch die anderen im Habitat herrschenden

Bedingungen wie Vegetation und Wirtstiovorkommen in die Betrachtung mit einbezogen werden, da all diese Faktoren ein komplexes System darstellen, in dem jeder Faktor die anderen maßgeblich beeinflusst. An Standorten mit einem geringen Zeckenvorkommen war fast auch immer entweder eine geringe bis nicht vorhandene Laubstreuschicht mit stark sonnenexponierten Flächen und damit fehlende Rückzugsorte insbesondere für subadulte Zecken vorzufinden, oder aber es herrschten ungünstige Lebensbedingungen für ihre Wirtstiere.

7. Summary

Studies on the seasonal population dynamics of *Ixodes ricinus* (Ixodidae) in Southern Germany

The aim of this study was to investigate the density of *I. ricinus* ticks at selected sites in Southern Germany and to allow conclusions on the seasonal population dynamics. For this purpose 13 locations in three German federal states were sampled from February 2011 to December 2011 in monthly intervals. 14.394 ticks (7862 larvae, 5568 nymphs, 455 female ticks and 509 male ticks) were collected in total, of which 14.383 ticks belonged to the species *I. ricinus*, while 11 ticks were of the species *D. reticulatus*. In addition various climatic parameters were measured on each location. The collected data was statistically examined using Poisson-regression.

Ticks could be found from February to November and were active up to temperatures of 1.1 °C. In 7 out of 13 locations an unimodal host-seeking activity with only a single peak in April and May could be found. The other 6 locations all showed a bimodal activity pattern with a second smaller activity maximum in autumn. These results support the hypothesis that the activity period of *I. ricinus* in Central Europe is prolonged due to more favourable climatic conditions.

Poisson-regression showed a significant positive dependency of the different development stages on sunshine duration and relative humidity. Precipitation showed a significant effect as well, whereby this parameter showed a negative relation with tick density.

Overall, the locations showed a relatively uniform climate, which cannot explain the partially huge differences concerning total tick numbers and distribution of the development stages between the single locations to a complete satisfaction. It is therefore necessary to also take into account the other conditions like vegetation and host abundance, since all factors represent a complex system in which each factor significantly affects all others. In locations with low tick numbers there has almost always been a

Summary

limited undergrowth with areas strongly exposed to sunlight and therefore a missing retreat especially for subadult ticks, or unfavorable conditions for their host animals.

8. Literaturverzeichnis

Aeschlimann A. (1972). *Ixodes ricinus*, Linné, 1758 (Ixodoidea: Ixodidae). Essai préliminaire de synthèse sur la biologie de cette espèce en Suisse. Acta Trop., 29: 321–340.

Arthur D. R. (1963). British Ticks. Butterworths, London.

Aspöck H. (2002). Amöben, Bandwürmer, Zecken. Parasiten und parasitäre Erkrankungen des Menschen in Mitteleuropa. 1. Auflage, Linz: Denisia.

Babenko L. V. (1974). Daily fluctuations in the activity of starving nymphs of *Ixodes ricinus* L. and *Ixodes persulcatus* P. Sch. (Parasitiformes: Ixodidae). Med. Parazitol. (Mosk.) 43: 520–527.

Babos S. (1964). Die Zeckenfauna Mitteleuropas, Akadémiai Kiadó, Budapest.

Beelitz P., Wild D., Wild S., Pfister K. (2008). Aktuelles zu *Babesia-canis*-Infektionen bei Hunden in Bayern und Baden-Württemberg. Kleintierpraxis, 53: 88–94.

Belozerov V. N. (1982). Diapause and biological rhythms in ticks. In: Physiology of ticks. Pergamon Press, Oxford, 469-500.

Clark D. D. (1995). Lower temperature limits for activity of several Ixodid ticks (Acari: Ixodidae): effects of body size and rate of temperature change. J Med Entomol., 32(4): 449-452.

Daniel M. (1993). Influence of the microclimate on the vertical distribution of the tick *Ixodes ricinus* (L.) in central Europe. Acarologia, 34: 105–113.

Daniel M., Danielová V., Kříž B., Jirsa A., Nožička J. (2003). Shift of the tick *Ixodes ricinus* and tick-borne encephalitis to higher altitudes in central Europe. Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis., 22: 327–328.

Daniel M., Danielová V., Kříž B., Kott I. (2004). An attempt to elucidate the increased incidence of tick-borne encephalitis and its spread to higher altitudes in the Czech Republic. In: Int. J. Med. Microbiol., 293, Suppl. 37: 55–62.

Daniels T. J., Fish D., Falco R. C. (1989). Seasonal activity and survival of adult *Ixodes dammini* (Acari: Ixodidae) in southern New York State. J Med Entomol, 26: 610-614.

Dautel H., Dippel C., Oehme R., Hartelt K., Schettler E. (2006). Evidence for an increased geographical distribution of *Dermacentor reticulatus* in Germany and detection of *Rickettsia* sp. RpA4. Int J Med Microbiol., 296 Suppl 40: 149-156.

Dautel H., Dippel C., Kämmer D., Werkhausen A., Kahl O. (2008). Winter activity of *Ixodes ricinus* in a Berlin forest. International Journal of Medical Microbiology, 298 Suppl 1: 50-54.

Dautel H., Kahl O. (2009). Die Auwaldzecke breitet sich aus. LWF-aktuell, 73: 28-29.

Deplazes P. (2006) Babesiosen, Piroplasmosen. In: Suter P. F., Kohn B., Praktikum der Hundeklinik. 10. Auflage, 2006, Parey-Verlag Stuttgart. S. 375-377.

Deutscher Wetterdienst (2012). Zahlen und Fakten zum Klimawandel in Deutschland. Klima-Pressekonferenz des DWD am 3. Mai 2012 in Berlin. <URL: <http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2012/>

PK__03__05__12/ZundF__PK__20120503,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/ZundF_PK_20120503.pdf> (23.07.2012)

Dobler G., Essbauer S., Pfeffer M. (2007). FSME in Bayern: Ausweitung der Endemiegebiete, Erregernachweis in Zecken, Veränderung der Viren? Bayer. Ärztebl., 4: 188–191.

Eckert J., Friedhoff K. T., Zahner H., Deplazes P. (2005). Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin. Enke Verlag, Stuttgart.

Estrada-Penã A. (2001). Distribution, abundance, and habitat preferences of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in Northern Spain. J. Med. Entomol. 38: 361-370.

Estrada-Penã A. (2003). The relationships between habitat topology, critical scales of connectivity and tick abundance *Ixodes ricinus* in a heterogeneous landscape in northern Spain. Ecography 26: 661–671.

Estrada-Peña A. (2004). Effects of habitat suitability and landscape patterns on tick (Acarina) metapopulation processes. Landscape Ecology, 20: 529–541.

Estrada-Peña A. (2008). Climate, niche, ticks, and models: what they are and how we should interpret them. Parasitology Research, 103, Suppl. 1: 87–95.

Gherman C. M., Mihalca A. D., Dumitrache M. O., Györke A., Oroian I., Sandor M., Cozma V. (2012). CO2 flagging - an improved method for the collection of questing ticks. Parasites & Vectors, 5: 125.

Gilbert L. (2010). Altitudinal patterns of tick and host abundance: a potential role for climate change in regulating tick-borne diseases? Oecologia, 162: 217–225.

Ginsberg H. S., Ewing C. P. (1989). Comparison of flagging, walking, trapping, and collecting from hosts as sampling methods for northern deer ticks, *Ixodes dammini*, and lone-star ticks, *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae). *Experimental & Applied Acarology*, 7: 313–322.

Gray J. S., Turley T., Strickland K. L. (1978). Studies on the ecology of sheep tick, *Ixodes ricinus*, in Co. Wicklow, Ireland. *Irish Vet J*, 32: 25-34.

Gray J. S. (1985). Studies on the larval activity of the tick *Ixodes ricinus* L. In Co. Wicklow, Ireland. *Experimental and Applied Acarology*, 1: 307-316.

Gray J. S. (1991). The development and seasonal activity of the tick *Ixodes ricinus*: a vector of lyme borreliosis. *Rev Med Vet Entomol*, 79: 323–333.

Gray J. S. (2002). Biology of ixodes species ticks in relation to tick-borne zoonoses. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 114: 473–478.

Gray J. S., Kahl O., Robertson J. N., Daniel M., Estrada-Peña A., Gettinby G., Jaenson T. G., Jensen P., Jongejan F., Korenberg E., Kurtenbach K., Zeman P. (1998). Lyme borreliosis habitat assessment. *Zbl. Bakt.*, 287: 211– 228.

Gray J. S., Dautel H., Estrada-Peña A., Kahl O., Lindgren E. (2009). Effects of Climate Change on Ticks and Tick-Borne Diseases in Europe. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, Artikel-ID 593232, doi:10.1155/2009/593232.

Habedank B., Graf J.-F., Briegel H., Hiepe T. (2006). Arthropoda. In: Hiepe T., Lucius R., Gottstein B., *Allgemeine Parasitologie mit den Grundzügen der Immunologie, Diagnostik und Bekämpfung*. Parey-Verlag Stuttgart, 1. Auflage, 2006. S. 144-147.

Heile C., Heydorn A.-O., Schein E. (2006). *Dermacentor reticulatus* (Fabricius, 1794) – Verbreitung, Biologie und Vektor von *Babesia canis* in Deutschland. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 119: 330–334.

Hillyard P. D. (1996). Ticks of North-West Europe. Published for the Linnean Society of London and the Estuarine and Coastal Sciences Association by Field Studies Council. Shrewsbury, England.

Horst H., Liebisch A., Liebisch G. (2003). Zeckenborreliose. Lyme-Krankheit bei Mensch und Tier. 4. Auflage. Spitta Verlag, Balingen.

Hubálek Z., Halouzka J., Juricová Z. (2003). Host-seeking activity of ixodid ticks in relation to weather variables. J. Vector Ecol., 28: 159–165.

Hurvich C. M., Tsai C.-L. (1990). The Impact of Model Selection on Inference in Linear Regression. The American Statistician. 44 (3): 214-217.

Immler R. M., Aeschlimann A., Büttiker W., Diehl P. A., Eichenberger G., Weiss N. (1970). Über das Vorkommen von Dermacentor-Zecken (*Ixodoidea*) in der Schweiz. Mitt. Schweiz. Entomol. Ges. 43: 99-110.

Immler R. (1973). Untersuchungen zur Biologie und Ökologie der Zecke *Dermacentor reticulatus*. Bull. Soc. Entomol. Suisse 46.

Jaenson T. G. T., Jaenson D. G. E., Eisen L., Petersson E., Lindgren E. (2012). Changes in the geographical distribution and abundance of the tick *Ixodes ricinus* during the past 30 years in Sweden. Parasites & Vectors, 5: 8.

Jensen P. M. (2000). Host seeking activity of *Ixodes ricinus* ticks based on daily consecutive flagging samples, *Experimental and Applied Acarology* 24: 695–708.

Jensen P. M., Kaufmann U. (2003). Seasonal and diel activity of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) subpopulations in Denmark. Aspects of size, physiological age, and malate dehydrogenase genotype in a forest site without any undergrowth, *Experimental and Applied Acarology* 30: 289–303.

Jongejan F., Uilenberg G. (2004). The global importance of ticks. *Parasitology*, 129: 3 – 14.

Kalsbeek V., Frandsen F. (1996). The seasonal activity of *Ixodes ricinus* ticks in Denmark. *Anzeiger für Schädlingkunde*, 69(7): 160-161.

Kahl O., Knülle W. (1988). Wirtssuchaktivität der Schildzecke *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) und ihre Durchseuchung mit Lyme-Spirochäten und dem Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)-Virus in Berlin (West). *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Entomol.*, 6: 223-225.

Kahl O. (1989). Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Zecken (Acari: Ixodoidea) im Laufe ihrer postembryonalen Entwicklung unter besonderer Berücksichtigung der aktiven Wasserdampfsorption bei gesogenen Stadien. [Dissertation] FU Berlin.

Kimmig P. (2008). Zeckenübertragene Infektionen: Borreliose und FSME - aktuelle Situation. Publikation des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg, Stuttgart.

Knülle W., Dautel H. (1997). Cold hardiness, supercooling ability and causes of low-temperature mortality in the soft tick, *Argas reflexus*, and the hard tick, *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodoidea) from Central Europe. *Journal of Insect Physiology*, 43(9): 843–854.

Kupča A. M. (2009). *Ixodes ricinus* (Ixodidae): Saisonale Aktivität und natürliche Infektionen mit dem FSME-Virus an ausgewählten Standorten in Bayern. [Dissertation] Ludwig-Maximilians-Universität, München.

Kurtenbach K., Kampen H., Dizij A., Arndt S., Seitz H. M., Schaible U. E., Simon M. M. (1995). Infestation of rodents with larval *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) is an important factor in the transmission cycle of *Borrelia burgdorferi* s.l. in German woodlands. J Med Entomol., 32(6): 807-817.

Kutzer E. (2000) Zecken- und Milbenbefall (Acaria). In: Rommel M., Eckert J., Kutzer E., Körting W., Schneider T., Veterinärmedizinische Parasitologie, 5. Auflage, 2000. Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH, Berlin, Wien. S. 297-303.

Lees A. D. (1946). The water balance in *Ixodes ricinus* L. and certain other species of ticks. Parasitol, 37: 1–20.

Lees A. D., Milne A. (1951). The seasonal and diurnal activities of individual sheep ticks (*Ixodes ricinus* L.). Parasitol, 41: 189–208.

Leonhard S. (2005). Untersuchungen zu Häufigkeit von *Borrelia burgdorferi sensu lato*, *Anaplasma phagocytophilum* und *Babesia* spp. in *Ixodes ricinus* aus Bayern und Baden-Württemberg [Dissertation]. Ludwig-Maximilians-Universität, München.

Li S., Heyman P., Cochez C., Simons L., Vanwambeke S. O. (2012). A multi-level analysis of the relationship between environmental factors and questing *Ixodes ricinus* dynamics in Belgium. Parasites & Vectors, 5: 149.

Licht W. (2011). Einführung in die Pflanzenbestimmung nach vegetativen Merkmalen. 1. Auflage, Quelle & Meyer.

Liebisch A., Rahman M. S. (1976). Zum Vorkommen und zur vektoriellen Bedeutung der Zecken *Dermacentor marginatus* (Sulzer, 1776) und *Dermacentor reticulatus* (Fabricius, 1794) in Deutschland. Tropenmedizinische Parasitologie 27: 393-404.

Liebisch A., Brandes R., Hoppenstedt K. (1985). Zum Befall von Hunden und Katzen mit Zecken und Flöhen in Deutschland. Praktischer Tierarzt, 66: 817-824.

Liebisch G., Liebisch A. (1999). Zur Diagnose wenig bekannter einheimischer durch Zecken übertragener Infektionen bei Hunden in Deutschland. Praktischer Tierarzt, 80: 474-482.

Lindgren E., Tälleklint L., Polfeldt T. (2000). Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting european tick *Ixodes ricinus*. Environ. Health Perspect., 108: 119–123.

Maetzel D., Maier W. A., Kampen H. (2005). *Borrelia burgdorferi* infection prevalences in questing *Ixodes ricinus* ticks (Acari: Ixodidae) in urban and suburban Bonn, western Germany. Parasitology Research, 95: 5-12.

MacLeod J. (1935a). *Ixodes ricinus* in relation to its physical environment. II. The factors governing survival and activity. Parasitology, 27: 123–144.

MacLeod J. (1935b). *Ixodes ricinus* in relation to its physical environment. III: Climate and reproduction. Parasitology, 27: 489–500.

- MacLeod J. (1936).** *Ixodes ricinus* in relation to its physical environment. IV. An analysis of the ecological complexes controlling distribution and activities. *Parasitology*, 28: 295–319.
- Mehlhorn H., Piekarski G. (1995).** Grundriß der Parasitenkunde, 4. Auflage. Fischer Verlag.
- Mejlon H. A., Jaenson T. G. T. (1997).** Questing behaviour of *Ixodes ricinus* ticks (Acari: Ixodidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 21: 747–754.
- Mejlon H. A. (2000).** Host-seeking activity of *Ixodes ricinus* in relation to the epidemiology of Lyme borreliosis in Sweden. [Dissertation]. Uppsala University.
- Menn B. (2006).** Untersuchungen zur Verbreitung und Ökologie von *Dermacentor spec.* (Ixodidae, Acari) in Deutschland [Diplomarbeit]. Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Moreno J. A., Estrada-Peña A. (1997).** Prevalence and seasonal activity of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) on domestic ruminants of the Basque country, Spain. *Exp Appl Acarol.*, 21(1): 41-48.
- Needham G. R., Teel P. D. (1991).** Off-host physiological ecology of Ixodid ticks. *Annu Rev Entomol*, 36: 659–681.
- Nilsson A. (1988).** Seasonal occurrence of *Ixodes ricinus* (Acari) in Vegetation and on small mammals in southern Sweden. *Holarctic Ecol.* 11: 161-165.
- Oorebeek M., Sharrad R., Kleindorfer S. (2009).** What attracts larval *Ixodes hirsti* (Acari: Ixodidae) to their host? *Parasitol Res*, 104: 623–628.

Pérez D., Kneubühler Y., Rais O., Gern L. (2012). Seasonality of *Ixodes ricinus* Ticks on Vegetation and on Rodents and *Borrelia burgdorferi* sensu lato Genospecies Diversity in Two Lyme Borreliosis-Endemic Areas in Switzerland. Vector Borne Zoonotic Dis., 12(8): 633-644.

Perret J. L., Guigoz E., Rais O., Gern L. (2000). Influence of saturation deficit and temperature on *Ixodes ricinus* tick questing activity in a Lyme borreliosis-endemic area (Switzerland). Parasitol Res, 86: 554-557.

Pfister K. (2006) Arthropodenbefall bei Hund und Katze. In: Schnieder T., Boch J., Supperer R., Veterinärmedizinische Parasitologie. 6. Auflage, 2006. Parey Verlag. S. 521-533.

Randolph S. E. (2004). Evidence that climate change has caused 'emergence' of tick-borne diseases in Europe? Int. J. Med. Microbiol. 293, Suppl. 37: 5-15.

Randolph S. E. (2010). To what extent has climate change contributed to the recent epidemiology of tick-borne diseases? Vet Parasitol., 167(2-4): 92-94.

Randolph S. E., Storey K. (1999). Impact of microclimate on immature tick-rodent host interactions (Acari: *Ixodidae*): implications for parasite transmission. J Med Entomol., 36(6): 741–748.

Randolph S. E., Green R. M., Peacey M. F., Rogers D. J. (2000). Seasonal synchrony: the key to tick-borne encephalitis foci identified by satellite data. Parasitology, 121: 15–23.

R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <URL: <http://www.R-project.org/>>

Robert-Koch-Institut (2010). Risikogebiete der Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) in Deutschland. Epidemiologisches Bulletin, 17/2010.

Rommel M., Eckert J., Kutzer E., Körting W., Schneider T. (2000). Veterinärmedizinische Parasitologie, 5. Auflage. Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH, Berlin, Wien.

Rufli T., Mumcuoglu Y. (1981). Dermatologische Entomologie. Teil 18: Ixodidae / Schildzecken., Teil 19: Argasidae / Lederzecken. Schweizerische Rundschau für Medizin Praxis, 70 (9): 362–385.

Schulze T. L., Jordan R. A., Hung R. W. (2001). Effects of selected meteorological factors on diurnal questing of *Ixodes scapularis* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae). J Med Entomol, 38: 318-324.

Silaghi C., Gilles J., Höhle M., Fingerle V., Just F. T., Pfister K. (2008). Anaplasma phagocytophilum infection in *Ixodes ricinus*, Bavaria, Germany. Emerg. Infect. Dis., 14: 972–974.

Sixl W., Nosek J. (1971). Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit auf das Verhalten von *Ixodes ricinus*, *Dermacentor marginatus* und *Haemaphysalis inermis*. Arch Sci Genève, 24: 97-109.

Sonenshine D. E. (1991). Biology of ticks Vol 1. Oxford University Press, New York, 13-64.

Sonenshine D. E. (1993). Biology of ticks Vol 2. Oxford University Press, New York, 3-103.

Stanek G., Hofmann H. (1994). Krank durch Zecken. FSME und Lyme-Borreliose. 1. Auflage, Verlag Wilhelm Maudrich, Wien.

Šumilo D., Asokliene L., Bormane A., Vasilenko V., Golovljova I., Randolph S. E. (2007). Climate change cannot explain the upsurge of tick-borne encephalitis in the Baltics. PLoS ONE, 2: e500.

Süss J., Schrader C., Falk U., Wohanka N. (2004). Tick-borne encephalitis (TBE) in Germany – epidemiological data, development of risk areas and virus prevalence in field-collected ticks and in ticks removed from humans. Int. J. Med. Microbiol., 293, Suppl. 37: 69–79.

Uspensky I. (1993). Ability of successful attack in two species of ixodid ticks (Acari: Ixodidae) as a manifestation of their aggressiveness. Exp. Appl. Acarol., 17: 673-683.

Van Es R. P., Gettinby G., Hillerton J. E. (1999). Models of temporal variation in questing activity in individuals of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) Experimental and Applied Acarology, 23: 977–986.

Wilske B., Steinhuber R., Bergmeister H., Fingerle V., Schierz G., Preac-Mursic V., Vanek E. Lorbeer B. (1987). Lyme-Borreliose in Süddeutschland. Epidemiologische Daten zum Auftreten von Erkrankungsfällen sowie zur Durchseuchung von Zecken (*Ixodes ricinus*) mit *Borrelia burgdorferi*, Deutsche Medizinische Wochenschrift, 112: 1730– 1736.

Zahler M., Loster F., Merkle C, Rinder H., Gothe R. (2000): Infektionsgefahr für Hunde in Regensburg - ein neuer Naturherd von *Babesia canis* und *Dermacentor reticulatus* in Deutschland. Tierärztl. Praxis, 28 (K): 395-398.

Zeman P., Beneš C. (2004). A tick-borne encephalitis ceiling in central Europe has moved upwards during the last 30 years: possible impact of global warming? Int. J. Med. Microbiol., 293, Suppl. 37, 48–54.

9. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------------|--------------------------------|
| Abb. | Abbildung |
| bzw. | beziehungsweise |
| °C | Grad Celsius |
| cm | Zentimeter |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid |
| <i>D. reticulatus</i> | <i>Dermacentor reticulatus</i> |
| DWD | Deutscher Wetterdienst |
| <i>et al.</i> | <i>et alii</i> |
| FSME | Frühsommer-Meningoenzephalitis |
| h | Stunde |
| ha | Hektar |
| <i>I. ricinus</i> | <i>Ixodes ricinus</i> |
| m | Meter |
| m ² | Quadratmeter |
| mm | Millimeter |
| m.ü.NN. | Meter über Normalnull |
| Tab. | Tabelle |
| vgl. | vergleiche |
| z.B. | zum Beispiel |

10. Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| Abb. 1 | Entwicklungsstadien von <i>Ixodes ricinus</i> | 7 |
| Abb. 2 | Entwicklungszyklus von <i>Ixodes ricinus</i> | 9 |
| Abb. 3 | Übersicht über die Lage der beprobten Standorte | 20 |
| Abb. 4 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Mooswald“ | 21 |
| Abb. 5 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Meissenheim“ | 22 |
| Abb. 6 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Bostalsee“ | 23 |
| Abb. 7 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Heiligenwald“ | 24 |
| Abb. 8 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Mönchberg“ | 25 |
| Abb. 9 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Neckarmühlbach“ | 26 |
| Abb. 10 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Ungelstetten“ | 27 |
| Abb. 11 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Sinzing“ | 28 |
| Abb. 12 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Heidenheim“ | 29 |
| Abb. 13 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Elchingen“ | 30 |
| Abb. 14 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Dambach“ | 31 |
| Abb. 15 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Schalding“ | 32 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------------------------|---|-----------|
| Abb. 16 a, b | Aufnahmen des Untersuchungsgebietes „Unterföhring“ | 33 |
| Abb. 17 a, b | Sammeln der Zecken mit Hilfe einer Zeckenflagge | 35 |
| Abb. 18 a, b, c | Statistische Verteilung der gesammelten Larven, Nymphen und Adulten in Bezug auf die Monate. | 43 |
| Abb. 19 | Temperaturverlauf an den verschiedenen Sammelorten im Jahr 2011. | 45 |
| Abb. 20 | Jährliche Sonnenscheindauer und Niederschlagsmenge an den verschiedenen Standorten. | 46 |
| Abb. 21 | Grafische Darstellung der Poisson-Regression für die Nymphen. | 50 |
| Abb. 22 | Grafische Darstellung der Poisson-Regression für die Adulten. | 51 |
| Abb. 23 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Bostalsee in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 87 |
| Abb. 24 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Dambach in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 88 |
| Abb. 25 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Elchingen in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 88 |
| Abb. 26 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Heidenheim in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 89 |
| Abb. 27 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Heiligenwald in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 89 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------------|---|-----------|
| Abb. 28 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Meissenheim in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 90 |
| Abb. 29 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Mönchberg in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 90 |
| Abb. 30 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Mooswald in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 91 |
| Abb. 31 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Neckarmühlbach in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 91 |
| Abb. 32 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Schalding in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 92 |
| Abb. 33 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Sinzing in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 92 |
| Abb. 34 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Ungelstetten in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 93 |
| Abb. 35 | Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Unterföhring in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur. | 93 |
| Abb. 36 | Darstellung der Anzahl der gefundenen Zecken in Relation zur Lufttemperatur in Bodennähe | 94 |
| Abb. 37 | Darstellung der Anzahl der gefundenen Zecken in Relation zur relativen Luftfeuchte in Bodennähe | 95 |
| Abb. 38 | Darstellung der Anzahl der gefundenen Zecken in Relation zur mittleren Sonnenscheindauer der vorherigen 3 Tage | 96 |
| Abb. 39 | Darstellung der Anzahl der gefundenen Zecken in Relation zur mittleren Niederschlagsmenge der vorherigen 3 Tage | 97 |

11. Tabellenverzeichnis

| | | |
|----------------|---|------------|
| Tab. 1 | Übersicht über die in Deutschland heimischen Zecken und ihre Systematik | 3 |
| Tab. 2 | Auflistung & Lage der Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) | 37 |
| Tab. 3 | Prozentuale Verteilung der Zeckenstadien an den Sammelorten | 40 |
| Tab. 4 | Prozentuale Verteilung der Zeckenstadien nach Monaten | 42 |
| Tab. 5 | Korrelation zwischen den ermittelten Klimawerten und der Anzahl der gesammelten adulten Zecken mittels Poisson-Regression | 47 |
| Tab. 6 | Korrelation zwischen den ermittelten Klimawerten und der Anzahl der gesammelten Nymphen mittels Poisson-Regression | 48 |
| Tab. 7 | Korrelation zwischen den ermittelten Klimawerten und der Anzahl der gesammelten Larven mittels Poisson-Regression | 48 |
| Tab. 8 | monatliche Klimadaten am Standort Mooswald | 98 |
| Tab. 9 | monatliche Klimadaten am Standort Meissenheim | 98 |
| Tab. 10 | monatliche Klimadaten am Standort Bostalsee | 99 |
| Tab. 11 | monatliche Klimadaten am Standort Heiligenwald | 99 |
| Tab. 12 | monatliche Klimadaten am Standort Mönchberg | 100 |
| Tab. 13 | monatliche Klimadaten am Standort Neckarmühlbach | 100 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|----------------|--|------------|
| Tab. 14 | monatliche Klimadaten am Standort Ungelstetten | 101 |
| Tab. 15 | monatliche Klimadaten am Standort Sinzing | 101 |
| Tab. 16 | monatliche Klimadaten am Standort Heidenheim | 102 |
| Tab. 17 | monatliche Klimadaten am Standort Elchingen | 102 |
| Tab. 18 | monatliche Klimadaten am Standort Dambach | 103 |
| Tab. 19 | monatliche Klimadaten am Standort Schalding | 103 |
| Tab. 20 | monatliche Klimadaten am Standort Unterföhring | 104 |

12. Anhang

12.1 Abbildungen

Abbildungen 23-35:

Übersicht über die an den jeweiligen Standort erhobenen Klima- und Zeckendaten.

Schwarzer Balken: Adulte, **hellgrauer Balken:** Nymphen, **dunkelgrauer Balken:** Larven, **blaue Linie:** Luftfeuchte in Bodennähe, **rote Linie:** Lufttemperatur in Bodennähe, **gelbe Linie:** Temperatur im Erdboden.

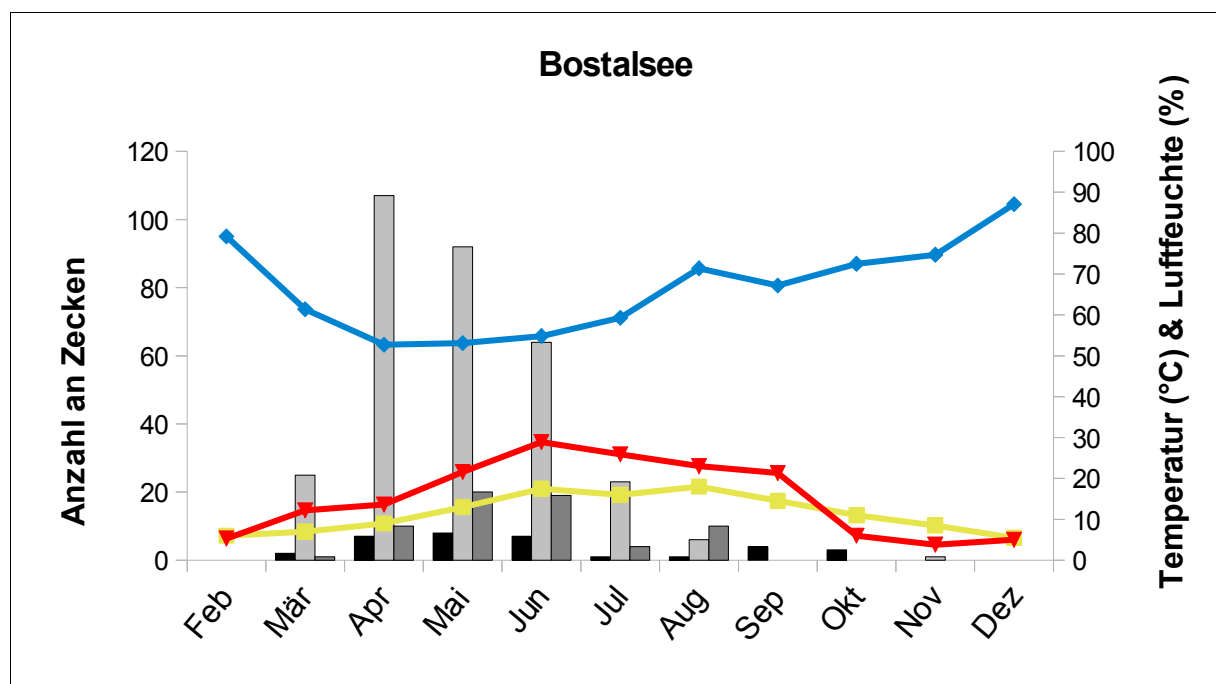


Abb. 23: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Bostalsee in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

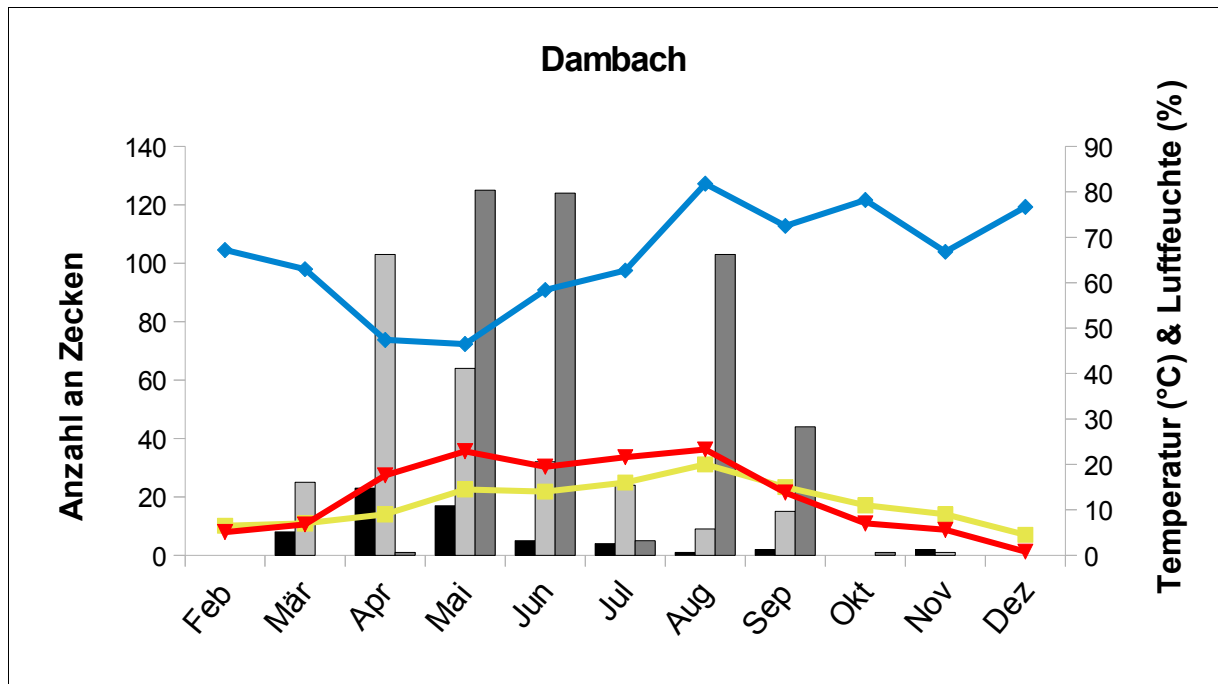


Abb. 24: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Dambach in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

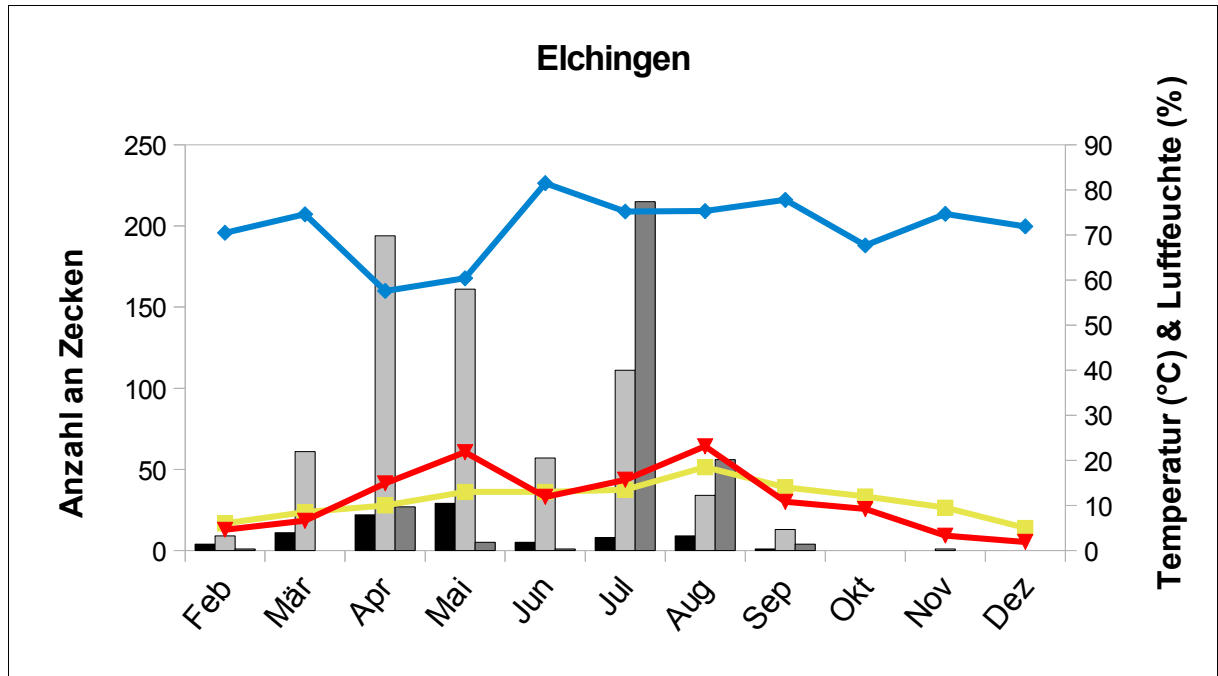


Abb. 25: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Elchingen in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

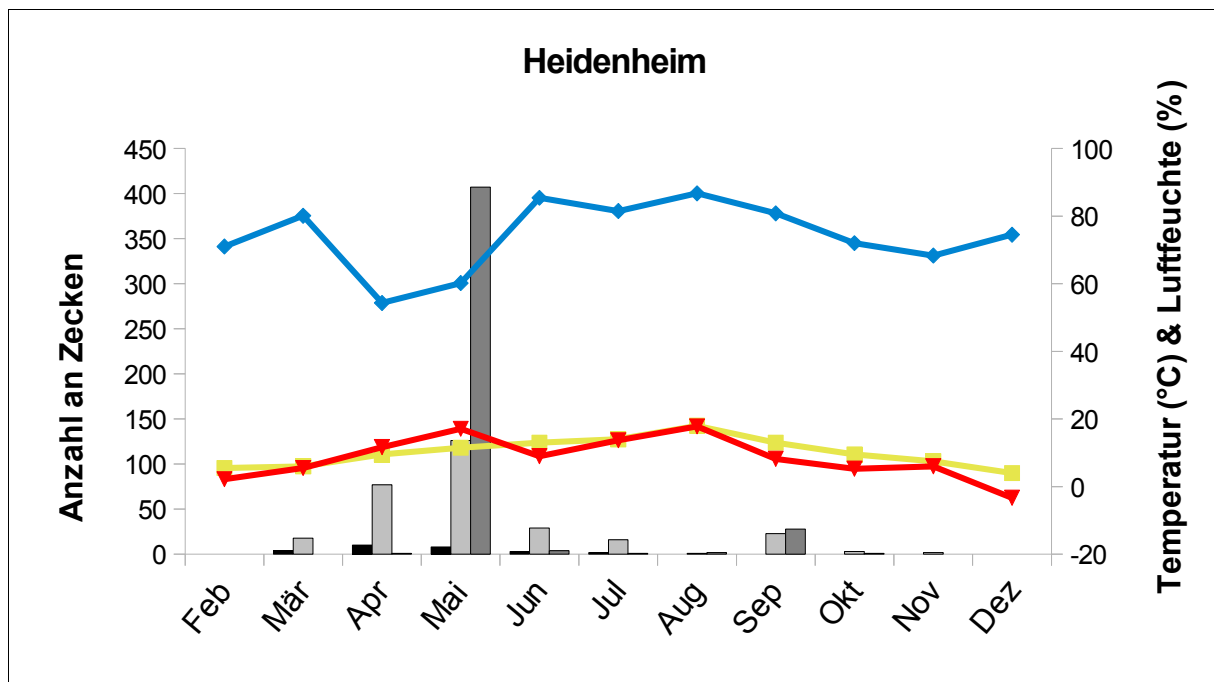


Abb. 26: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Heidenheim in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

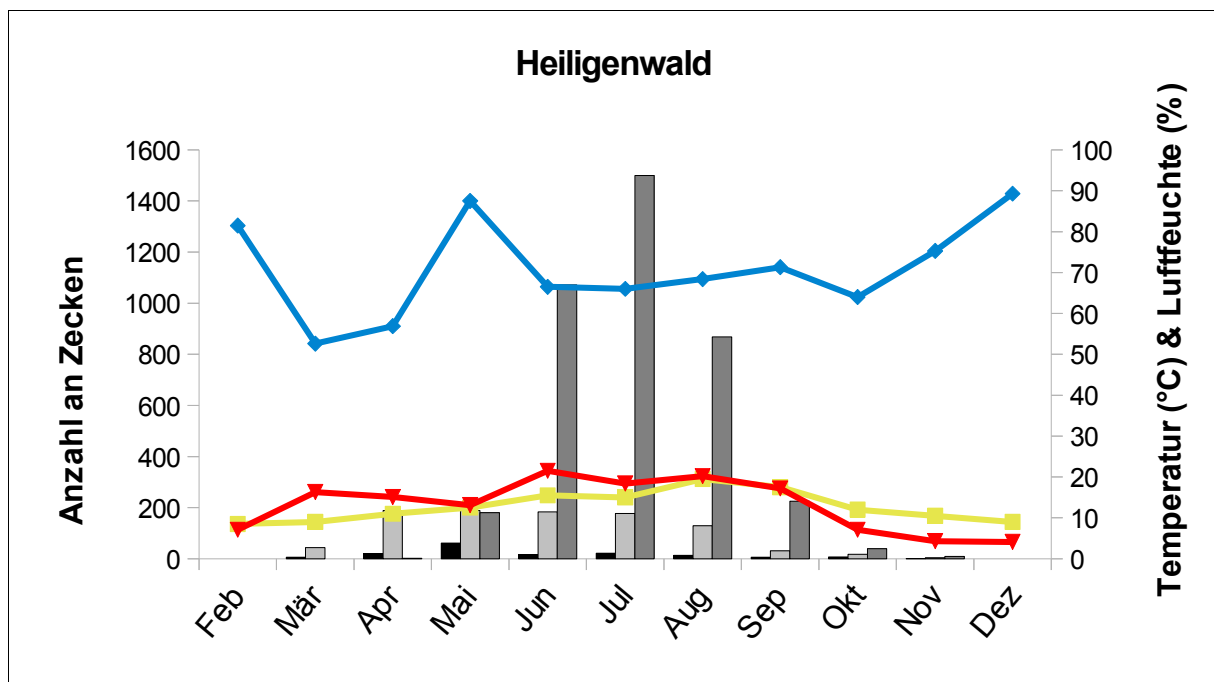


Abb. 27: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Heiligenwald in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

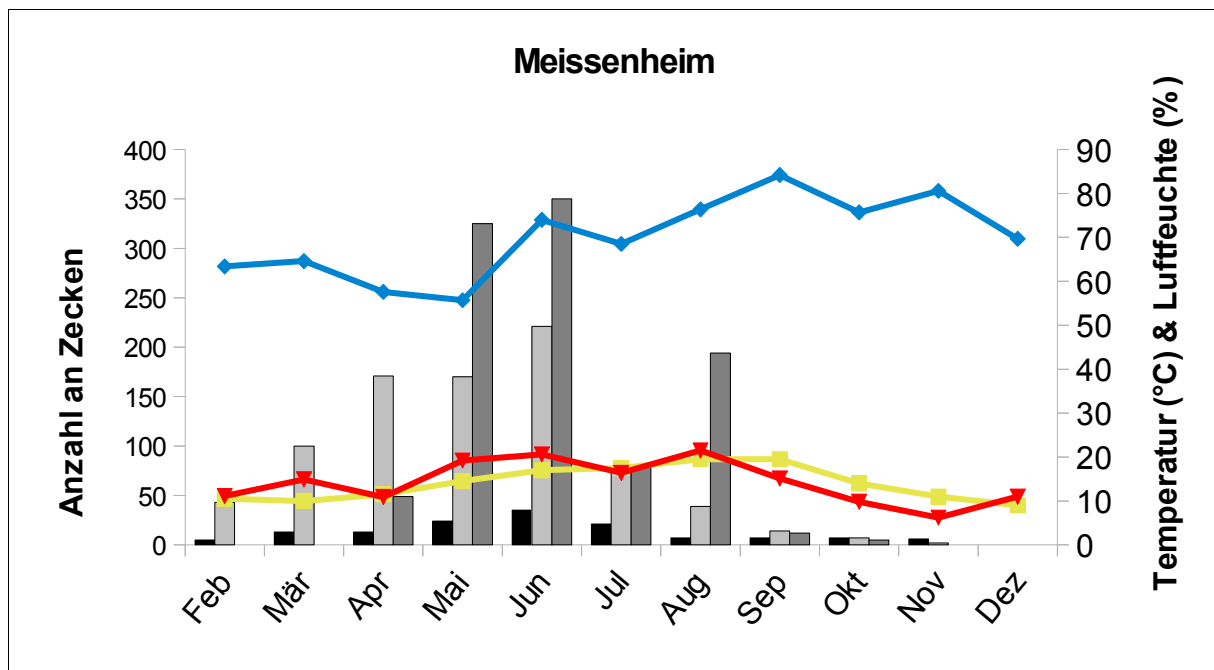


Abb. 28: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Meissenheim in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

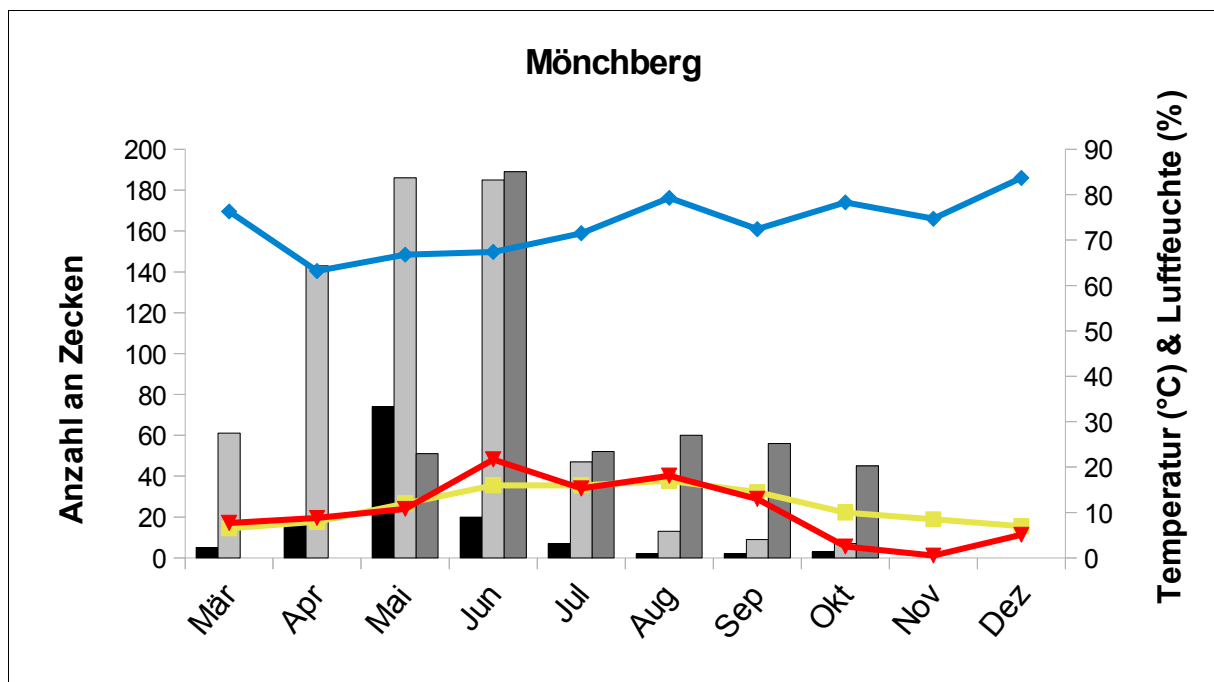


Abb. 29: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Mönchberg in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

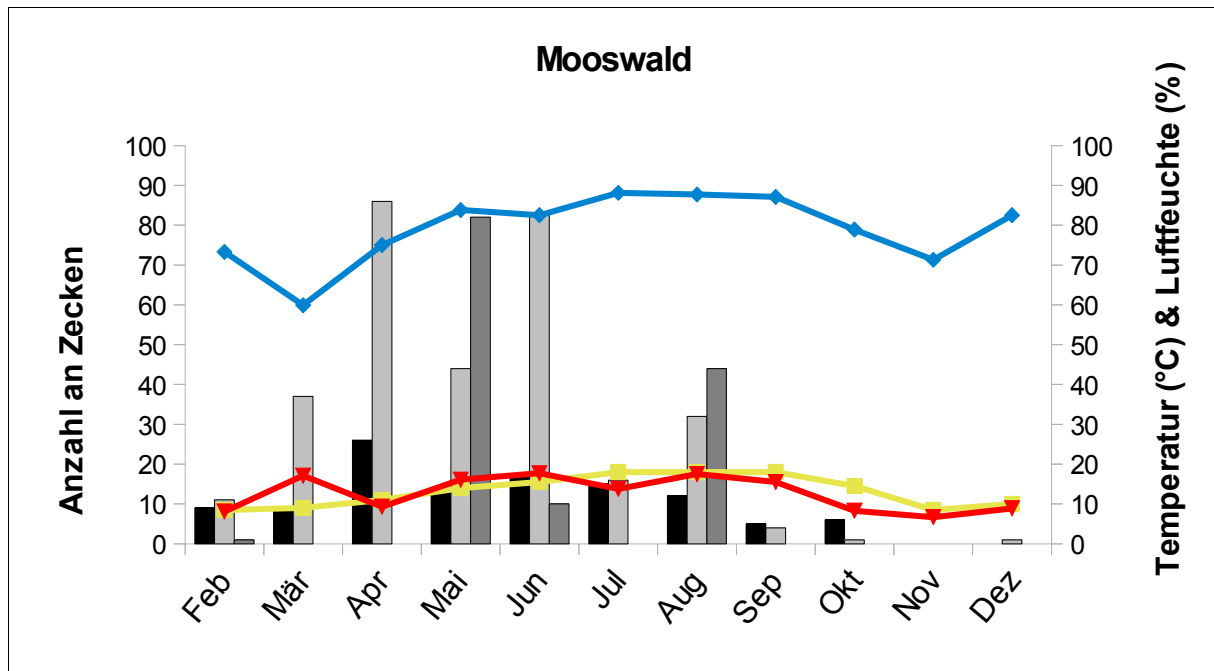


Abb. 30: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Mooswald in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

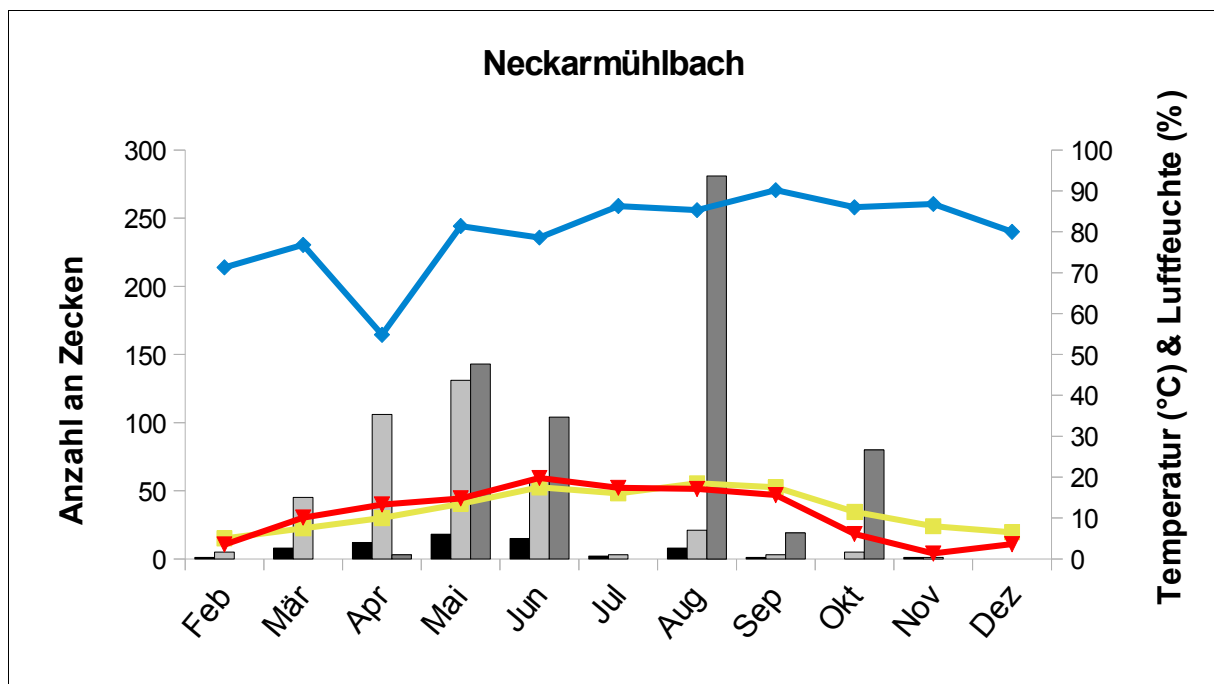


Abb. 31: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Neckarmühlbach in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

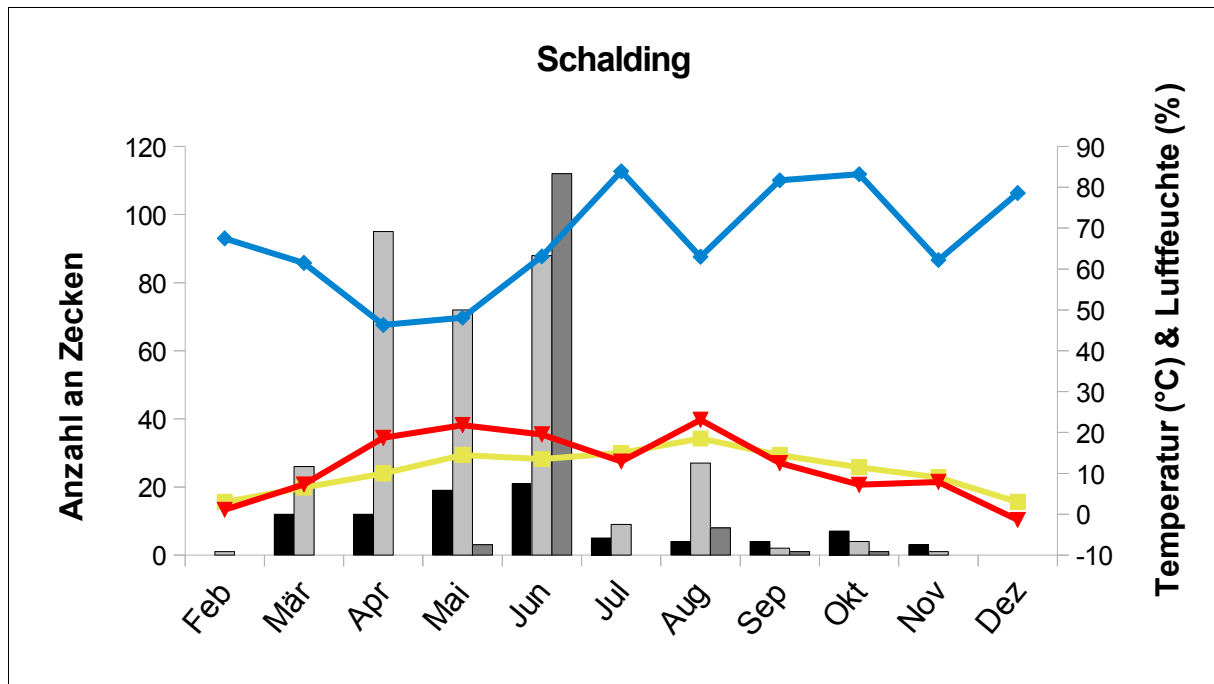


Abb. 32: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Schalding in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

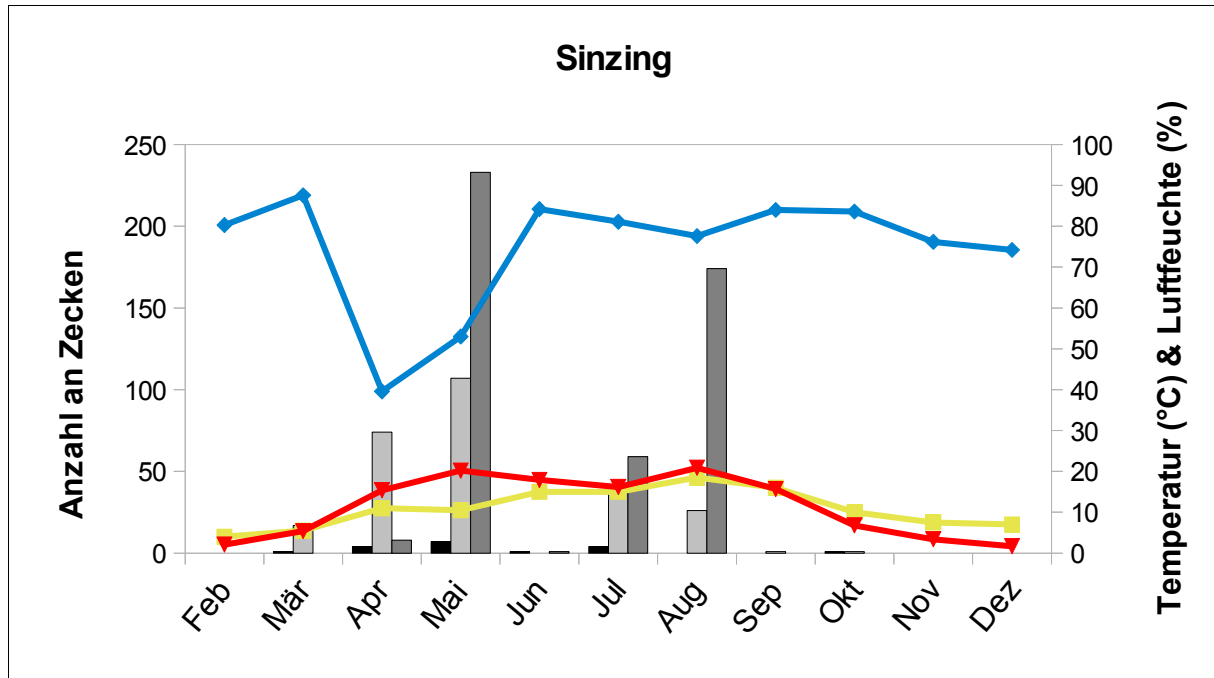


Abb. 33: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Sinzing in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

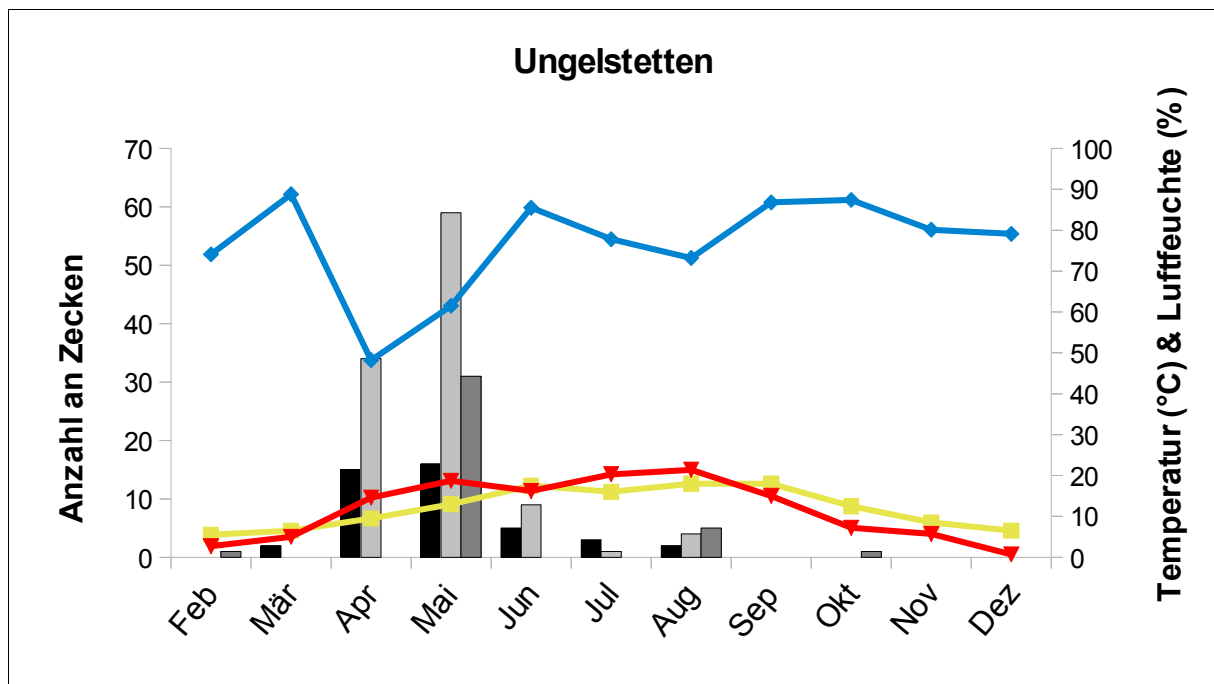


Abb. 34: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Ungelstetten in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

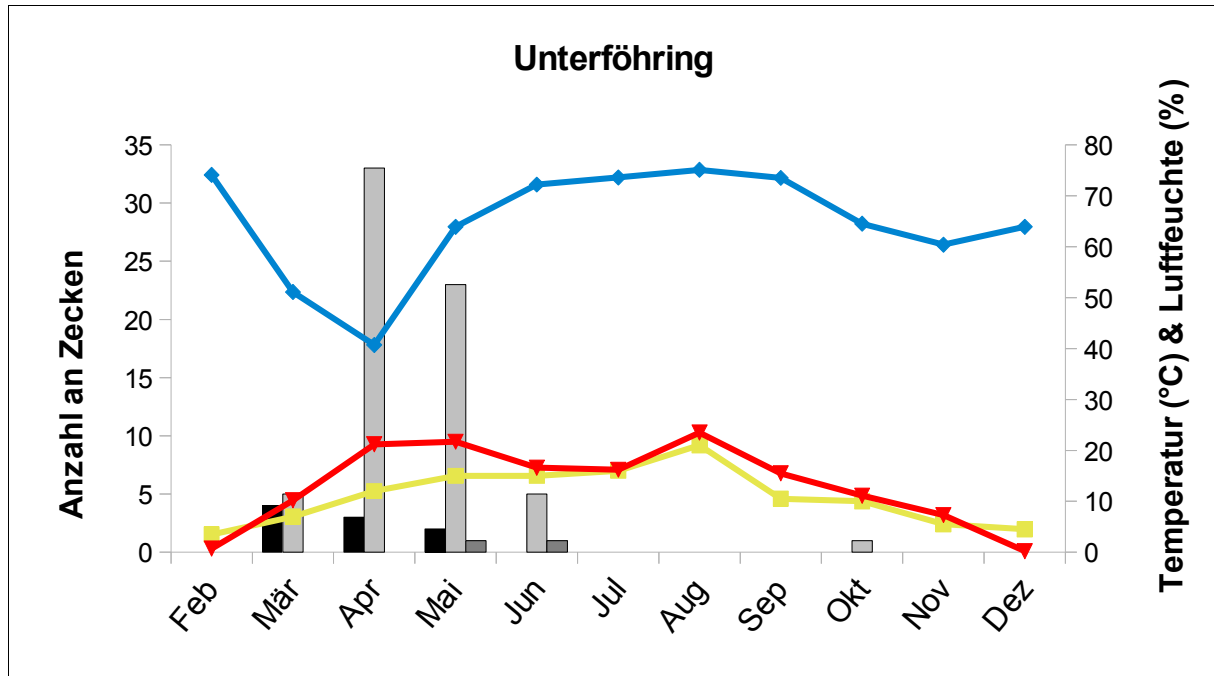


Abb. 35: Anzahl der gesammelten Zecken am Standort Unterföhring in Relation zu Luftfeuchte und Temperatur.

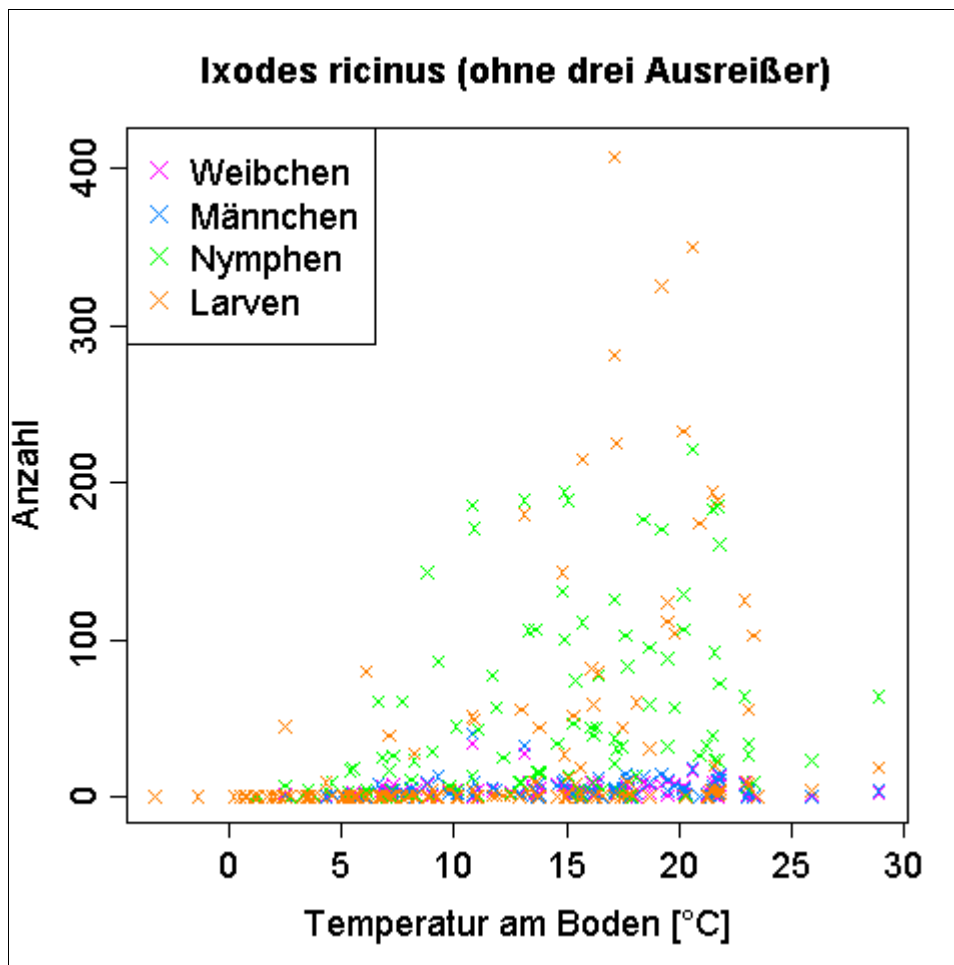


Abb. 36: Darstellung der Anzahl der gefundenen Zecken in Relation zur Lufttemperatur in Bodennähe.

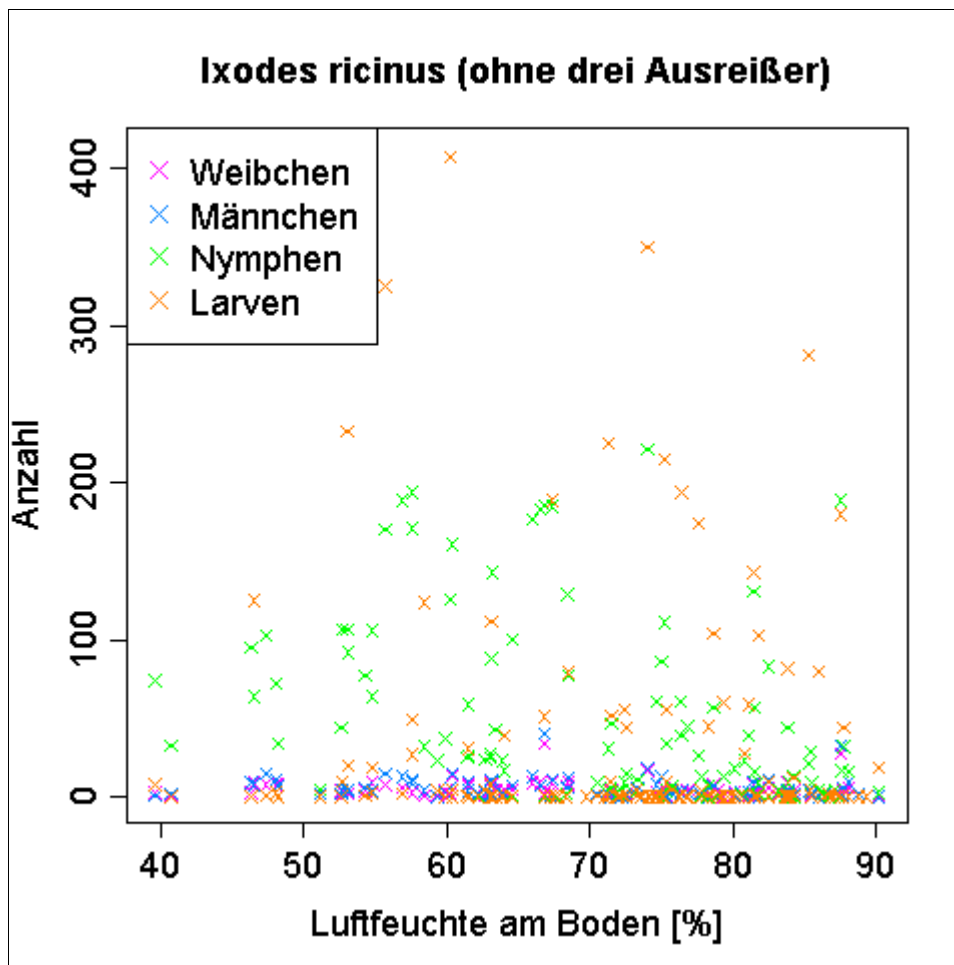


Abb. 37: Darstellung der Anzahl der gefundenen Zecken in Relation zur relativen Luftfeuchte in Bodennähe.

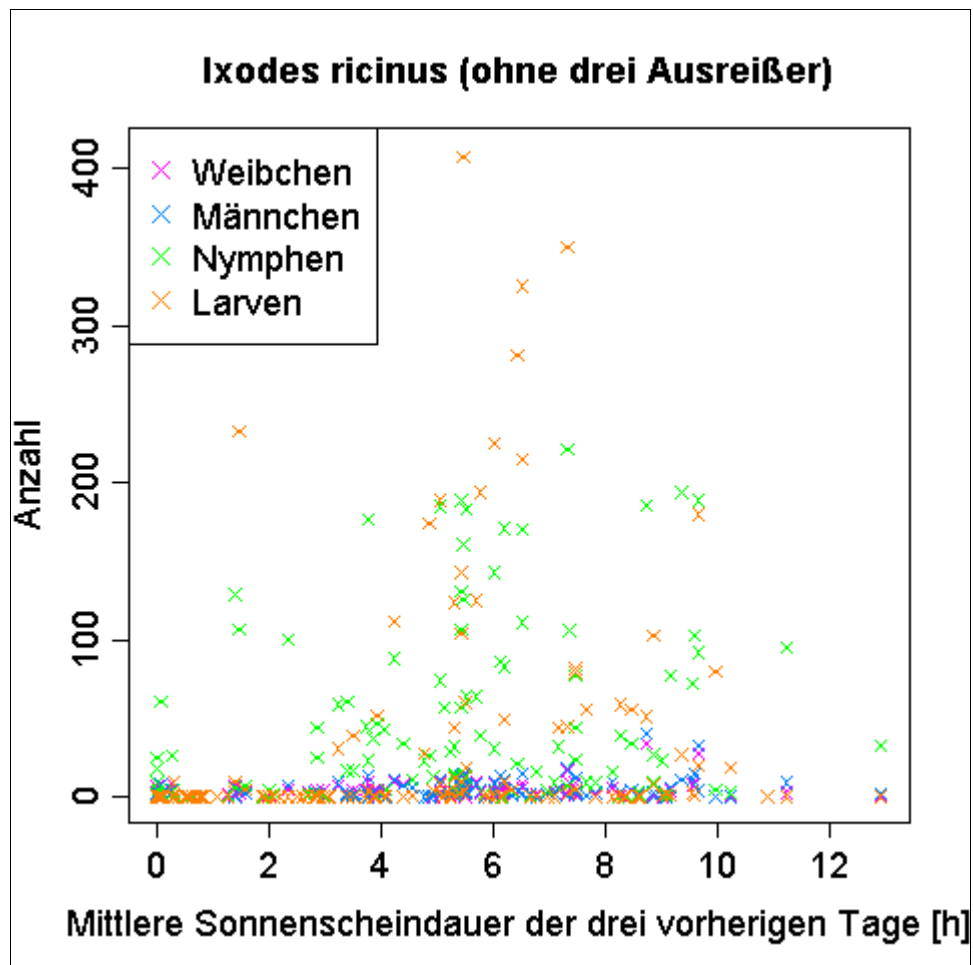


Abb. 38: Darstellung der Anzahl der gefundenen Zecken in Relation zur mittleren Sonnenscheindauer der vorherigen 3 Tage.

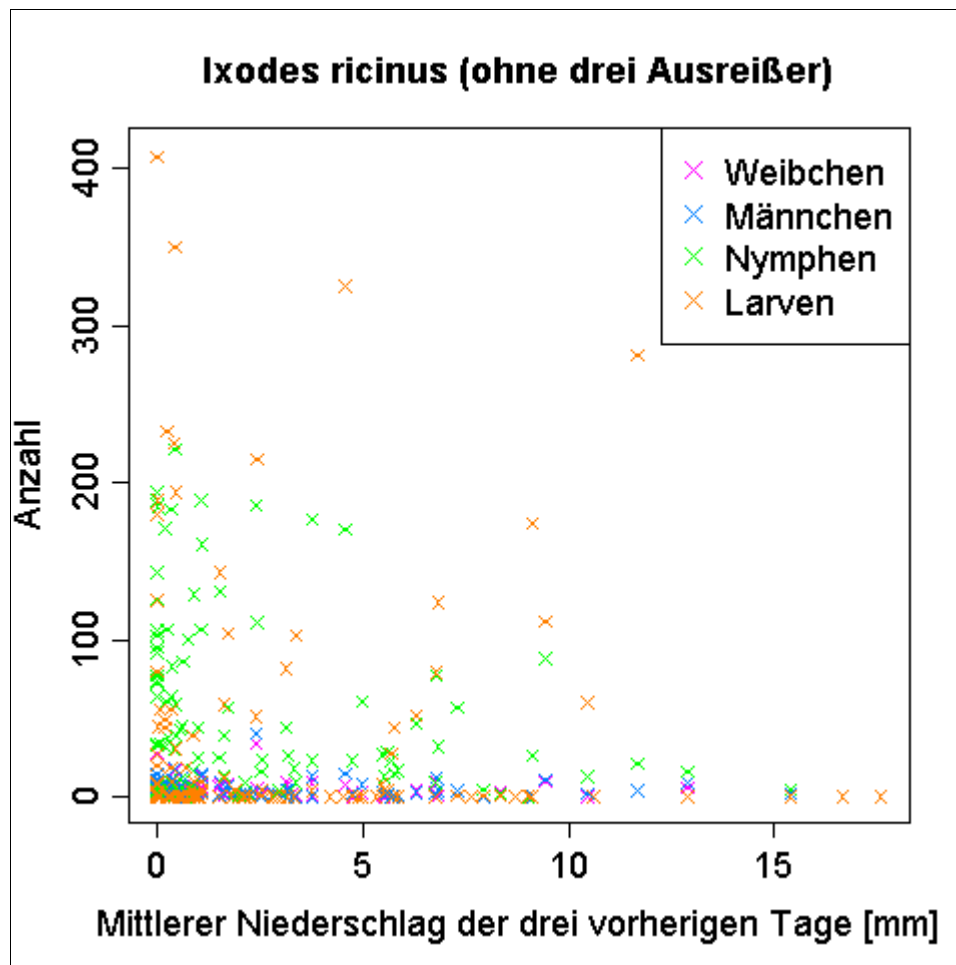


Abb. 39: Darstellung der Anzahl der gefundenen Zecken in Relation zur mittleren Niederschlagsmenge der vorherigen 3 Tage.

12.2 Tabellen

Tabelle 8: monatliche Klimadaten am Standort Mooswald

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|-----------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 8,5 | 8,1 | 7,4 | 73,3 | 73,4 |
| März | 9 | 17,1 | 14,1 | 59,9 | 62,4 |
| April | 11 | 9,3 | 9 | 75 | 69,6 |
| Mai | 14 | 16,1 | 16,1 | 83,8 | 79,1 |
| Juni | 15,5 | 17,7 | 17,6 | 82,5 | 81,4 |
| Juli | 18 | 13,8 | 13,4 | 88,1 | 87,5 |
| August | 18 | 17,5 | 17,6 | 87,7 | 87,3 |
| September | 18 | 15,5 | 15,3 | 87,1 | 86,4 |
| Oktober | 14,5 | 8,3 | 8,1 | 78,9 | 74,7 |
| November | 8,5 | 6,7 | 7 | 71,3 | 65,2 |
| Dezember | 10 | 8,9 | 8,8 | 82,5 | 83,1 |

Tabelle 9: monatliche Klimadaten am Standort Meissenheim

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|-----------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 10,5 | 11,1 | 11,7 | 63,4 | 64,7 |
| März | 10 | 14,9 | 15,6 | 64,6 | 58,6 |
| April | 11,5 | 10,9 | 11 | 57,6 | 56,9 |
| Mai | 14,5 | 19,2 | 18,7 | 55,7 | 45,1 |
| Juni | 17 | 20,6 | 20,4 | 74 | 70,9 |
| Juli | 17,5 | 16,4 | 15,8 | 68,5 | 61,6 |
| August | 19,5 | 21,5 | 21,5 | 76,4 | 77,6 |
| September | 19,5 | 15,1 | 14,9 | 84,2 | 81,5 |
| Oktober | 14 | 9,8 | 9,9 | 75,7 | 76,1 |

Anhang

| | | | | | |
|----------|----|-----|------|------|------|
| November | 11 | 6,2 | 6,1 | 80,6 | 80,2 |
| Dezember | 9 | 11 | 10,8 | 69,7 | 67,4 |

Tabelle 10: monatliche Klimadaten am Standort Bostalsee

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|-----------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 6 | 5,3 | 5,4 | 79,2 | 78,4 |
| März | 7 | 12,2 | 14,3 | 61,4 | 56,5 |
| April | 9 | 13,6 | 11,5 | 52,7 | 37,6 |
| Mai | 13 | 21,6 | 20,1 | 53,1 | 38,8 |
| Juni | 17,5 | 28,9 | 27,3 | 54,8 | 50,4 |
| Juli | 16 | 25,9 | 25,8 | 59,3 | 48,4 |
| August | 18 | 23 | 22,4 | 71,4 | 59,6 |
| September | 14,5 | 21,3 | 20,6 | 67,2 | 51,6 |
| Oktober | 11 | 6 | 5,8 | 72,5 | 71,4 |
| November | 8,5 | 3,8 | 2,6 | 74,7 | 76,9 |
| Dezember | 5,5 | 5 | 4,8 | 87,1 | 85,9 |

Tabelle 11: monatliche Klimadaten am Standort Heiligenwald

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|---------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 8,5 | 7,1 | 6,5 | 81,5 | 82,2 |
| März | 9 | 16,3 | 15,9 | 52,6 | 50,8 |
| April | 11 | 15,1 | 14,8 | 56,9 | 53,2 |
| Mai | 12,5 | 13,1 | 12,9 | 87,5 | 79,6 |
| Juni | 15,5 | 21,5 | 21,6 | 66,5 | 65,3 |
| Juli | 15 | 18,4 | 18,7 | 66 | 54,1 |
| August | 19,5 | 20,2 | 20,5 | 68,4 | 66,2 |

Anhang

| | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|
| September | 17,5 | 17,2 | 17,3 | 71,3 | 60,5 |
| Oktober | 12 | 7,1 | 7,2 | 64 | 64,4 |
| November | 10,5 | 4,3 | 3,9 | 75,3 | 71,9 |
| Dezember | 9 | 4,1 | 3,9 | 89,3 | 89,7 |

Tabelle 12: monatliche Klimadaten am Standort Mönchberg

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|-----------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 4,5 | 2,5 | 2,2 | 79,6 | 80,7 |
| März | 6,5 | 7,7 | 7,6 | 76,3 | 76,9 |
| April | 8 | 8,8 | 8,9 | 63,2 | 58,9 |
| Mai | 12 | 10,8 | 10,6 | 66,8 | 61,7 |
| Juni | 16 | 21,7 | 21,6 | 67,4 | 63,7 |
| Juli | 16 | 15,3 | 15,4 | 71,5 | 68,9 |
| August | 17 | 18,1 | 18 | 79,3 | 75,2 |
| September | 14,5 | 13 | 13 | 72,4 | 71,7 |
| Oktober | 10 | 2,5 | 2,2 | 78,3 | 76,9 |
| November | 8,5 | 0,5 | 0,1 | 74,7 | 77,5 |
| Dezember | 7 | 5,1 | 5 | 83,7 | 83,5 |

Tabelle 13: monatliche Klimadaten am Standort Nackarmühlbach

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|---------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 5 | 3,5 | 3,3 | 71,3 | 70,5 |
| März | 7,5 | 10,1 | 9,8 | 76,8 | 73,8 |
| April | 10 | 13,3 | 12,8 | 54,8 | 51,7 |
| Mai | 13,5 | 14,8 | 15 | 81,4 | 78,6 |
| Juni | 17,5 | 19,8 | 19,4 | 78,6 | 73,9 |

Anhang

| | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|
| Juli | 16 | 17,4 | 17,5 | 86,3 | 85,3 |
| August | 18,5 | 17,1 | 17,6 | 85,3 | 80,9 |
| September | 17,5 | 15,6 | 15,8 | 90,2 | 90,4 |
| Oktober | 11,5 | 6,1 | 5,9 | 86 | 84,7 |
| November | 8 | 1,3 | 0,8 | 86,8 | 83,6 |
| Dezember | 6,5 | 3,6 | 3,7 | 80 | 78,7 |

Tabelle 14: monatliche Klimadaten am Standort Ungelstetten

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|-----------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 5,5 | 2,7 | 2,5 | 74,1 | 75,5 |
| März | 6,5 | 5 | 4,6 | 88,8 | 89,3 |
| April | 9,5 | 14,6 | 13,6 | 48,2 | 46,3 |
| Mai | 13 | 18,7 | 18,6 | 61,5 | 57,7 |
| Juni | 17,5 | 16,2 | 15,9 | 85,5 | 83,3 |
| Juli | 16 | 20,3 | 18,9 | 77,8 | 62,7 |
| August | 18 | 21,4 | 21,2 | 73,2 | 70,1 |
| September | 18 | 15 | 15 | 86,8 | 90,4 |
| Oktober | 12,5 | 7,2 | 7 | 87,4 | 84,1 |
| November | 8,5 | 5,7 | 5,8 | 80,1 | 78,7 |
| Dezember | 6,5 | 0,7 | 0,9 | 79,1 | 78,8 |

Tabelle 15: monatliche Klimadaten am Standort Sinzing

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|---------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 4 | 2,1 | 1,3 | 80,3 | 84 |
| März | 5,5 | 5,4 | 5,2 | 87,6 | 87,8 |
| April | 11 | 15,4 | 14,8 | 39,6 | 37,1 |

Anhang

| | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|
| Mai | 10,5 | 20,2 | 19,9 | 53 | 50,4 |
| Juni | 15 | 17,9 | 18,6 | 84,2 | 78,3 |
| Juli | 15 | 16,2 | 16 | 81,1 | 80,4 |
| August | 18,5 | 20,9 | 21 | 77,6 | 76,8 |
| September | 16 | 15,7 | 15,9 | 84 | 86,4 |
| Oktober | 10 | 6,8 | 6,7 | 83,6 | 82,1 |
| November | 7,5 | 3,4 | 3,3 | 76,2 | 76,7 |
| Dezember | 7 | 1,7 | 1,5 | 74,2 | 74,9 |

Tabelle 16: monatliche Klimadaten am Standort Heidenheim

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|-----------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 5,5 | 2,2 | 2,7 | 71 | 70,7 |
| März | 6 | 5,5 | 4,3 | 80,1 | 75,7 |
| April | 9,5 | 11,7 | 11,4 | 54,3 | 50,7 |
| Mai | 11,5 | 17,1 | 17,3 | 60,2 | 58,6 |
| Juni | 13 | 9 | 8,9 | 85,4 | 85,3 |
| Juli | 14 | 13,7 | 13,6 | 81,5 | 80,3 |
| August | 18 | 17,8 | 17,7 | 86,7 | 87,3 |
| September | 13 | 8,2 | 7,9 | 80,8 | 81,3 |
| Oktober | 9,5 | 5,3 | 4,3 | 72 | 76,8 |
| November | 7,5 | 6 | 5,9 | 68,3 | 68,9 |
| Dezember | 4 | -3,3 | -3,5 | 74,5 | 76,6 |

Tabelle 17: monatliche Klimadaten am Standort Elchingen

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|---------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 6 | 4,6 | 4,6 | 70,5 | 68,1 |

Anhang

| | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|
| März | 8,5 | 6,6 | 5,4 | 74,6 | 68,2 |
| April | 10 | 14,9 | 14,5 | 57,6 | 52,3 |
| Mai | 13 | 21,8 | 21,1 | 60,4 | 64,1 |
| Juni | 13 | 11,9 | 11,7 | 81,5 | 81,1 |
| Juli | 13,5 | 15,7 | 15,5 | 75,2 | 75,1 |
| August | 18,5 | 23,1 | 22,9 | 75,3 | 77,4 |
| September | 14 | 10,8 | 10,6 | 77,8 | 78,8 |
| Oktober | 12 | 9,2 | 8,9 | 67,6 | 68,7 |
| November | 9,5 | 3,3 | 3,3 | 74,7 | 76,8 |
| Dezember | 5 | 1,9 | 0,3 | 71,9 | 70,2 |

Tabelle 18: monatliche Klimadaten am Standort Dambach

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|-----------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 6,5 | 5,1 | 4,7 | 67,2 | 64,4 |
| März | 7 | 6,8 | 6,6 | 63 | 60 |
| April | 9 | 17,6 | 17,8 | 47,4 | 36,8 |
| Mai | 14,5 | 22,9 | 22,8 | 46,5 | 42,9 |
| Juni | 14 | 19,5 | 17,3 | 58,4 | 54,3 |
| Juli | 16 | 21,6 | 21,1 | 62,7 | 57,3 |
| August | 20 | 23,3 | 23,8 | 81,8 | 78,7 |
| September | 15 | 13,8 | 13,1 | 72,5 | 72,2 |
| Oktober | 11 | 7 | 7,4 | 78,2 | 73,7 |
| November | 9 | 5,6 | 4,5 | 66,8 | 64,8 |
| Dezember | 4,5 | 0,8 | 1,3 | 76,7 | 71,2 |

Tabelle 19: monatliche Klimadaten am Standort Schalding

| Monat | Temperatur Erdboden | Lufttemperatur in Bodennähe | Lufttemperatur in 1 m Höhe | rel. Luftfeuchte in Bodennähe | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe |
|-------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|-------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|

Anhang

| | [°C] | [°C] | [°C] | [%] | [%] |
|-----------|------|------|------|------|------|
| Februar | 3 | 1,1 | 0,8 | 67,5 | 68,1 |
| März | 6,5 | 7,3 | 7,6 | 61,5 | 55,2 |
| April | 10 | 18,7 | 19,3 | 46,3 | 44,2 |
| Mai | 14,5 | 21,8 | 21,9 | 48,1 | 46,7 |
| Juni | 13,5 | 19,5 | 18,9 | 63,1 | 54,5 |
| Juli | 15 | 12,9 | 12,9 | 83,9 | 84,5 |
| August | 18,5 | 23,1 | 22,2 | 63 | 61,7 |
| September | 14,5 | 12,5 | 12,1 | 81,7 | 81,8 |
| Oktober | 11,5 | 7,2 | 6,9 | 83,2 | 79,7 |
| November | 9 | 7,9 | 7,3 | 62,6 | 60,4 |
| Dezember | 3 | -1,4 | -1,7 | 78,6 | 79,2 |

Tabelle 20: monatliche Klimadaten am Standort Unterföhring

| Monat | Temperatur Erdboden [°C] | Lufttemperatur in Bodennähe [°C] | Lufttemperatur in 1 m Höhe [°C] | rel. Luftfeuchte in Bodennähe [%] | rel. Luftfeuchte in 1 m Höhe [%] |
|-----------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| Februar | 3,5 | 0,7 | 0,8 | 74,1 | 72,2 |
| März | 7 | 10,2 | 9 | 51,1 | 48,1 |
| April | 12 | 21,2 | 20,7 | 40,7 | 38,2 |
| Mai | 15 | 21,7 | 21,8 | 63,9 | 53,7 |
| Juni | 15 | 16,6 | 16,1 | 72,2 | 69,5 |
| Juli | 16 | 16,2 | 15,4 | 73,6 | 75,5 |
| August | 21 | 23,5 | 23,2 | 75,1 | 72,7 |
| September | 10,5 | 15,5 | 15 | 73,5 | 72,7 |
| Oktober | 10 | 11,1 | 10 | 64,5 | 61,7 |
| November | 5,5 | 7,3 | 6,7 | 60,4 | 60,1 |
| Dezember | 4,5 | 0,2 | -0,6 | 63,8 | 61,9 |

13. Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes aus der Arbeit entfernt.

14. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich bei der Durchführung und Fertigstellung dieser Arbeit auf verschiedenste Weise unterstützt haben.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr. K. Pfister, der mir die Anfertigung dieser Dissertation am Institut für Vergleichende Tropenmedizin und Parasitologie ermöglichte, mir das Thema der Arbeit überlassen hat, welches viele neue Erfahrungen mit sich brachte, und mich stets freundlich betreut hat.

Auch bedanken möchte ich mich bei Heidrun Schöl, die mir hilfreiche Tipps zur Zeckenbestimmung im Labor gegeben hat und mit Anschauungsmaterial und lieben Worten geholfen hat.

Allen anderen Mitarbeitern des Instituts sei ebenfalls gedankt für die Beschaffung von Arbeitsmaterial, die netten Gespräche und den Gedankenaustausch.

Bei den Mitarbeitern des Instituts für Statistik Dipl.-Stat. Monia Mahling und Fabian Scheipl, die mir bei der statistischen Auswertung der Daten eine unschätzbare Hilfe waren, möchte ich mich recht herzlich bedanken. Bei Monia Mahling darüber hinaus für die unermüdliche Hilfe bei Verständnisfragen meinerseits und der Korrektur meines Fachartikels.

Der Firma Merial danke ich für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

Meinem Freund Benjamin danke ich über alles für die aufmunternden Worte und den Halt, den er mir v.a. in schwierigen Momenten gegeben hat, sowie für die Begleitung auf einigen Sammeltouren.

Von ganzem Herzen möchte ich meinen Eltern danken, die mich zu jeder Zeit seelisch wie auch finanziell unterstützt haben und mir mit ihrem Zuspruch und ihrem Vertrauen die größte Stütze überhaupt waren.